

Analyse und Anwendung
eines menschenzentrierten Gestaltungsprozesses
zur Entwicklung von Human-Machine-Interfaces
im Arbeitskontext am Beispiel Flugsicherung

Vom Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt
zur
Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie (Dr. phil.)
angenommene

DISSERTATION

vorgelegt von

Dipl.-Psych. Christina König

aus Darmstadt

Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. phil. Joachim Vogt
Tag der Einreichung:	5. Juni 2012
Tag der mündlichen Prüfung:	7. August 2012

Darmstadt 2012

D17

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit, abgesehen von den in ihr ausdrücklich genannten Hilfen, selbstständig verfasst habe.

Datum, Unterschrift

Danksagung

Mein Dank gilt zunächst meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder für die Möglichkeit, in Projekten und als Projektleiter praktische Erfahrungen sammeln zu dürfen. Sie haben mir gezeigt, wie spannend und vielfältig die Rolle eines Arbeitswissenschaftlers sein kann, und mir ermöglicht, über meine Projekte hinaus das Thema menschenzentrierte Entwicklung von Human-Machine-Interfaces zu vertiefen. Neben Ihrer fachlichen Unterstützung war mir insbesondere Ihre Zuversicht in den Erfolg meiner Dissertation eine große Hilfe!

Danken möchte ich auch meinem Koreferent Prof. Dr. phil. Joachim Vogt. Sie waren mir mit Ihrer Expertise im Bereich Flugsicherung, aber auch durch Ihre psychologische Perspektive eine wertvolle Unterstützung insbesondere in der letzten Phase meiner Dissertation.

Weiter gilt der Dank den Menschen, mit denen ich in den unterschiedlichen Projekten zusammenarbeiten durfte, darunter dem Projektteam Tower-HMI unter der Leitung von Dr.-Ing. Jörg Bergner sowie allen Fluglotsen, die mit großem Engagement und Sachkenntnis zum Erfolg der HMI beigetragen haben. Sie haben mir einen Einblick in ihre Arbeit, ihre Wünsche und alltäglichen Schwierigkeiten gewährt und dabei großes Vertrauen in meine Fähigkeiten als Arbeitswissenschaftler gesetzt. Das Erlebnis, gemeinsam zukünftige Arbeitsbedingungen in einem Kontext wie der Flugsicherung gestalten zu dürfen, war großartig! Allen Beteiligten herzlichen Dank dafür!

Weiter möchte ich mich bei meinen Kollegen am Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt bedanken. Ihr habt mich vom ersten Tag an herzlich in die Familie aufgenommen und mit mir die schönen wie die unruhigen Zeiten durchgestanden. Ihr hattet immer ein offenes Ohr für die Zweifel und Abers, aber auch für die Begeisterung, wenn ein Problem endlich gelöst und die Dissertation ein kleines Stück weitergekommen war. Besonderer Dank gilt Dr.-Ing. Rolf Helbig, ruhender Pol und erster Ansprechpartner für so ziemlich jede Frage. Danke für die spannenden Diskussionen quer durch die Welt der Arbeitswissenschaft, das Teilen Deiner Erfahrungen und die jederzeit offene Tür!

Eine Dissertation wäre nicht denkbar ohne die inzwischen zahlreiche Studenten, die als studentische Hilfskräfte oder in studentischen Arbeiten ihren Beitrag geleistet haben. Die Arbeit mit Euch hat mir viel Freude gemacht und mitunter zu unerwarteten Erkenntnissen geführt. Jeder von Euch hat seine Spur hinterlassen und dazu beigetragen, dass die Dissertation entstehen konnte.

Besonders danken möchte ich auch Professor Thomas Hofmann für die immer angenehme, konstruktive und anregende Zusammenarbeit - vom ersten Tag an. Mit keinem ist Arbeiten schöner!

Der abschließende Dank gilt meiner Familie, die mich nicht nur in dieser Zeit unterstützt, motiviert und manchmal auch wieder auf den richtigen Weg zurückgeholt hat. Meinem Vater, der meinen wissenschaftlichen Werdegang initiiert und als verlässlicher Mentor begleitet und sich immer wieder die Zeit genommen hat, mit mir Forschungsideen und -ergebnisse zu diskutieren und weiterzuentwickeln. Meiner Mutter, meiner Schwester Eva und meinem Patenkind Jakob, die sich um mein Wohlbefinden gesorgt und mir immer wieder neue Kraft und Freude gegeben haben. Und ganz besonders meinem Gregor für seine Geduld und Zuversicht, seine Liebe und die Bereitschaft, auch schwierige Zeiten gemeinsam mit mir durchzustehen. Ich danke Euch allen von ganzem Herzen. Ohne Euch wäre diese Arbeit nicht geschrieben!

Inhalt

1	Einleitung.....	1
1.1	Motivation.....	1
1.2	Aktuelle Herausforderungen.....	1
1.3	Fragestellung.....	4
1.4	Vorgehen.....	5
2	Stand der Forschung.....	6
2.1	HMI-Entwicklung in der Flugsicherung.....	6
2.2	Entwicklungsprozess-Modelle.....	10
2.2.1	Allgemeine Perspektiven.....	10
2.2.2	Vorgehensmodelle.....	12
2.2.3	Sequentielle Modelle.....	14
2.2.4	Zyklische bzw. iterative Modelle.....	17
2.2.5	Prototypische Vorgehensmodelle	19
2.2.6	Nutzerfokussierte bzw. Partizipative Vorgehensmodelle.....	20
2.2.7	Erlebensfokussierte Modelle.....	27
2.2.8	Menschzentrierter Gestaltungsprozess nach DIN EN ISO 9241-210.....	28
2.2.9	Bewertung der Entwicklungsprozess-Modelle	33
2.3	Arbeitskontext.....	37
2.3.1	Arbeit.....	37
2.3.2	Betrachtungsebenen.....	38
2.3.3	Arbeitssystem.....	38
2.4	Zusammenfassung und Fazit.....	39
2.4.1	Zentrale Aspekte erfolgreicher Vorgehensmodelle zur HMI-Entwicklung.....	39
2.4.2	Herausforderung für das klassische Vorgehen.....	40
2.4.3	Fazit.....	41
3	Anwendung des Vorgehens im Arbeitskontext Flugsicherung.....	42
3.1	Analyse des Nutzungskontexts.....	42
3.1.1	Ziel der Aktivität.....	42
3.1.2	Nutzungskontext „Fluglotse“.....	45
3.1.3	Komplexität.....	56
3.1.4	Fazit zur Aktivität.....	63
3.2	Anforderungen in der Flugsicherung.....	63
3.2.1	Ziel der Aktivität	63
3.2.2	Allgemeine Anforderungen an die Gestaltung von Arbeitssystemen.....	64
3.2.3	Anforderungen aus der Arbeitsaufgabe.....	67
3.2.4	Spezifische Anforderungen an HMI in der Flugsicherung.....	70
3.2.5	Systematisierung von Anforderungen	73
3.2.6	Konflikte zwischen Anforderungen.....	74
3.2.7	Fazit zur Aktivität.....	75
3.3	Gestaltung von HMI.....	76
3.3.1	Ziel der Aktivität.....	76
3.3.2	Gestaltungsmethodik.....	76
3.3.3	Arten von HMI.....	79
3.3.4	Gestaltungsmöglichkeiten.....	80
3.3.5	Gestalten für hohe Komplexität	89
3.3.6	Prototyping.....	90
3.3.7	Fazit zur Aktivität.....	94

3.4 Evaluation.....	95
3.4.1 Ziel der Aktivität.....	95
3.4.2 Entwicklung und Klassifikation von Kriterien.....	95
3.4.3 Bewertungskriterien für HMI in der Flugsicherung.....	96
3.4.4 Methoden.....	102
3.4.5 Abstraktionsebenen und Realitätsgrad.....	107
3.4.6 Fazit Phase 4: Evaluation.....	108
4 Anwendungsbeispiele aus Projekten.....	110
4.1 Prinzip.....	110
4.2 Fallstudie 1: Planungstool.....	112
4.2.1 Ausgangssituation und Ziel des Projekts.....	112
4.2.2 Prinzip	113
4.2.3 Vorgehen und Inhalte.....	113
4.2.4 Erkenntnisse über den Prozess.....	124
4.3 Fallstudie 2: Evolution der Gestaltung beim Tower-HMI.....	125
4.3.1 Ausgangssituation und Ziel.....	125
4.3.2 Prinzip	127
4.3.3 Vorgehen und Inhalte.....	128
4.3.4 Erkenntnisse über den Prozess.....	148
4.4 Fallstudie 3: Evaluation mit unterschiedlichen Methoden	149
4.4.1 Ausgangssituation und Ziel des Projekts.....	149
4.4.2 Prinzip.....	149
4.4.3 Vorgehen und Inhalte.....	150
4.4.4 Erkenntnisse über den Prozess.....	155
5 Modell des Entwicklungsprozesses.....	158
5.1 Beschreibung der Komponenten.....	158
5.1.1 Basiskomponenten.....	158
5.1.2 Unteraktivitäten.....	160
5.1.3 Beziehungen.....	161
5.1.4 Kombinierte Darstellung.....	162
5.2 Entwicklungsdimensionen.....	163
5.3 Anwendungsmöglichkeiten des Vorgehensmodells.....	167
6 Diskussion	168
7 Ausblick.....	170
8 Literatur.....	172
8.1 Veröffentlichte Literatur.....	172
8.2 Normen und Verordnungen.....	198
8.3 Unveröffentlichte Quellen.....	200
9 Verzeichnisse.....	201
9.1 Abbildungsverzeichnis.....	201
9.2 Tabellenverzeichnis.....	203
9.3 Abkürzungsverzeichnis.....	204
10 Zusammenfassung	205
11 Anhang	207

1 Einleitung

„Aber: es ist in der Wissenschaft gut, auch Prinzipiellstes zu gegebener Zeit ernsthafter und konkreter Prüfung zu unterwerfen; nicht in nur allgemeinen, mehr spekulativen Erwägungen, sondern in konkretem Eindringen; im positiven Vorschreiten zu möglichst adäquater Erfassung des Gegebenen und im Vordringen zu Entscheidungsfragen innerhalb des Tatsächlichen.“ (Wertheimer, 1922, S. 47).

1.1 Motivation

Die zunehmende Komplexität und Dynamik im Luftverkehr sowie die mangelnde Kapazität im Luftraum sind die wesentlichen zukünftigen Herausforderungen für die Flugsicherung (Manning & Stein, 2005). Insbesondere Flugplätze werden zum Engpass (Hein, 2003). Trends für die Zukunft sind neben Optimierung von Prozessen und technischen Systemen u. a. eine stärkere Automatisierung von Prozessen sowie eine Orts- und Sichtunabhängigkeit der Arbeitspositionen im Tower, was als Paradigmenwechsel bezeichnet werden kann (Schulz-Rückert, 2007). Diese Trends bilden sich u. a. in strategischen Forschungsaktivitäten der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) und weiterer europäischer Flugsicherungsunternehmen ab (Bierwagen, 2007, S. 315). Eines der größten ist SESAR (Single European Sky Air Traffic Management Research Programme) mit dem Ziel eines einheitlichen Air-Traffic-Management-Systems für den Europäischen Luftraum (Bierwagen, 2007). Auch nationale Forschungsprogramme wie die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Verbundprojekte „Wettbewerbsfähiger Flughafen“ (WFF, 2007-2009) und „Innovativer Airport“ (iPort, 2009-2012) versuchen, durch Anpassung und Weiterentwicklung von Systemen und Aufgaben einen Beitrag zu leisten. Gleichzeitig ist zu erwarten, dass der Mensch einer der limitierenden Faktoren bleibt (vgl. Wickens, Mavor & McGee; 1997, Köper, 2001). Die Anpassung der technischen Systeme an die Fähigkeiten und Bedürfnisse der Menschen im System zur Optimierung des Gesamtsystems ist daher eine wesentliche arbeitswissenschaftliche Aufgabe.

1.2 Aktuelle Herausforderungen

Durch die kontinuierliche Entwicklung und Optimierung von Human-Machine-Interfaces (HMI) wird versucht, aktuellen Herausforderungen in der Flugsicherung zu begegnen. Zu diesen Herausforderungen gehören beispielsweise die zunehmende Komplexität und Dynamik im Luftverkehr

(Hagemann, 2000; Manning & Stein, 2005), Kapazitätsengpässe (Hein, 2003; Hagemann, 2000) sowie zunehmende Automation (Hopkin, 1998; Hagemann, 2000; Schulz-Rückert, 2009). Diese Herausforderungen sind eher allgemein formuliert.

Es sind jedoch auch auf spezifischer Ebene Herausforderungen zu meistern. Eine wesentliches Problemfeld ist die Veränderung der Informationsflüsse durch neue technische Möglichkeiten bzw. den Einsatz neuer Technologien an den Arbeitsplätzen von Fluglotsen (z. B. Vogt, 2002). Während bis vor wenigen Jahren einzelne technische Systeme wie z. B. Radarschirm oder Flugstreifen in Papierform getrennt voneinander funktionierten, bietet die Umstellung auf neue Software und Hardware inzwischen die Möglichkeit, Daten von den eigentlichen Quellen getrennt und integriert darzustellen. Dies führt einerseits zu größeren Freiheiten bei der Informationsdarstellung. Andererseits führt eine Integration, Verdichtung und mediale Vermittlung von Informationen auch zu einer höheren Anforderung an den Nutzer, da er teilweise nicht mehr zuordnen kann, welcher Quelle die angezeigten Daten entspringen, und wie zuverlässig diese sind. Insbesondere bei hoher Verkehrsdichte ist ein Fluglotse jedoch auf zuverlässige und schnell erfassbare Daten angewiesen, um rasche und sichere Entscheidungen treffen zu können.

Hier ist eine wesentliche Frage, auf welche Weise dem Nutzer Daten angemessen dargestellt werden können. Häufig wird beispielsweise gefordert, dass die Arbeitsmittel den Lotsen bei der Informationsverarbeitung optimal unterstützen sollten, indem sie ihm entscheidungsrelevante Daten effizient aufbereiten und präsentieren (König, Hofmann, Bergner & Bruder, 2008a). Durch eine gute Abstimmung der Daten auf die anstehenden Entscheidungen und Handlungen des Lotsen sollen diese effizienter und sicherer erfolgen. Auch Fragen zur Automatisierung sind zu beantworten, z. B. wie die Aufmerksamkeit des Nutzers im richtigen Moment an der richtigen Stelle gewährleistet werden und die gewünschte Handlung angeregt werden kann, wie die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und technischem System aussehen soll (z. B. Sheridan, 2002) oder welche Auswirkungen eine Veränderung von einer ausführenden zu einer überwachenden Tätigkeit hat (Roth, Patterson & Mumaw, 2002).

Eine weitere Herausforderung liegt in der langen Entwicklungsdauer von technischen Systemen in der Flugsicherung aufgrund hoher Sicherheitsanforderungen. So wird für eine zukünftige Situation gestaltet, deren Bedingungen noch nicht vollständig bekannt sind. Dazu gehören neben der Verkehrssituation und -dichte auch die Eigenschaften der Nutzer, die Ziele der beteiligten Partner (Flugsicherungsgesellschaft, Fluggesellschaften, Flughafenbetreiber, Anwohner, vgl. z. B. Vogt, 2002), politische Ausrichtungen sowie verfügbare technische Lösungen. Zudem können sich Systemumstellungen auf Prozeduren im Flugverkehr auswirken bzw. veränderte Prozeduren eine Anpassung der

Systeme notwendig machen. Die Auswirkungen von Veränderungen sowie die zukünftig relevanten Anforderungen an ein HMI sind für Entwicklerteam und Anwender schwer abzuschätzen, so dass die Gefahr besteht, dass von heutigen Bedingungen ausgegangen wird und das Produkt dann zukünftig nicht mehr sinnvoll eingesetzt werden kann.

Eine wesentliche Frage ist daher, wie ein HMI entwickelt werden muss, welches erst in fünf bis zehn Jahren unter noch nicht vollständig bekannten Bedingungen eingesetzt werden kann (vgl. z. B. König, Röbig, Hofmann, Bergner & Bruder, 2010). Die Abschätzung der Bedingungen sowie ein flexibles Vorgehen bei der Entwicklung bis zur Systemeinführung sind hier wesentliche Herausforderungen.

Nicht nur unklare Einsatzbedingungen sind jedoch problematisch bei der Entwicklung eines HMI, sondern auch ungeeignete Vorgehensweisen. So werden die gesetzten Ziele nicht erreicht, und das Produkt ist nicht wirtschaftlich oder nicht gebrauchstauglich (z. B. Specker, 2001). Ein Resultat ist häufig, dass die Software nicht eingesetzt wird oder werden kann, oder zumindest eine Überarbeitung notwendig ist. Eine Studie des U.S. Government Accounting Office stellt fest, dass nahezu neunzig Prozent der von staatlichen Institutionen bestellten Software nie eingesetzt wurde bzw. auf die Lieferung oder Fertigstellung verzichtet wurde, lediglich fünf Prozent der Software wurde eingesetzt wie geplant (Cox & Novobilski, 1991). Erfahrungen aus anderen Bereichen zeigen, dass dies keine Ausnahme ist (z. B. Dahm, 2006, Specker, 2001).

Die Herausforderung ist hier das Finden, Entwickeln oder Anwenden einer geeigneten Vorgehensweise, die nicht nur die Produktentwicklung zum erfolgreichen Abschluss bringt, sondern auch eine höhere Wirtschaftlichkeit und Gebrauchstauglichkeit des Produkts erreicht und seinen Einsatz somit wahrscheinlicher macht.

Um ein geeignetes HMI zu entwickeln, ist es unerlässlich, die zukünftigen Anwender einzubeziehen, um ihre Perspektive zu integrieren (z. B. Peschke, 1987). Dem liegt die Annahme zugrunde, dass der Anwender seine Ziele, Eigenschaften und Motive selbst am besten kennt und sie im Entwicklungsprozess vertreten sollte (Nielsen, 1993). Auch soll sich die Beteiligung förderlich auf die Akzeptanz des entwickelten Produkts auswirken (vgl. auch Kapitel 2.2.6). Dies kann an unterschiedlichen Stellen im Prozess geschehen, z. B. bei der Evaluation von Gestaltungslösungen, aber auch beim Festlegen von Anforderungen (vgl. z. B. DIN EN ISO 9241-210). Partizipation ist jedoch schwieriger bei heterogenen Nutzergruppe bzw. wenn die Nutzer nur wenig Erfahrung mit der Entwicklung gebrauchstauglicher Systeme haben oder sich nur schwer zukünftige Situationen, Arbeitsbedingungen oder Eigenschaften der Systeme vorstellen können. Insbesondere das Abwägen der unterschiedlichen Ziele wie Sicherheit auf der einen und Bedienkomfort auf der anderen Seite

sowie das Abschätzen der Auswirkungen einer Entscheidung auf das komplexe Gesamtsystem können schwierig sein. Da die Integration der zukünftigen Nutzer jedoch im Allgemeinen mehr Vor- als Nachteile aufweist, stellt sich die Frage, wie sie optimal gestaltet werden kann.

Konventionelle Methoden der Produktentwicklung eignen sich nur bedingt für den Einsatz im Bereich Flugsicherung. So ist die Tätigkeit eines Fluglotsen zu einem großen Teil mental und daher nur schwer direkt messbar (Wickens et al., 1997). Nutzertests sind aufgrund der kleinen, jedoch heterogenen Nutzergruppe ressourcenintensiv, die Ergebnisse gelten oft nur für einen spezifischen Arbeitsplatz und lassen sich nur schwer auf ähnliche Kontexte übertragen (König, Hofmann & Bruder, 2012). Der hohe Trainingsgrad der Nutzer bei ihrer Tätigkeit erfordert außerdem eine Beurteilung eines Systems bei vergleichbarem Trainingsgrad. Eine Ad-hoc-Beurteilung des ersten Eindrucks hilft für die Entwicklung nicht weiter.

1.3 Fragestellung

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, werden neue HMI und Arbeitssysteme gestaltet. Dabei liegt der Fokus häufig eher auf den technischen Aspekten des Gesamtsystems, in dem der Mensch nur einen kleinen, wenngleich entscheidenden, Teil darstellt. Eine Alternative ist ein menschenzentriertes Vorgehen, wie es z. B. in DIN EN ISO 9241-210 (2011) beschrieben wird, um die Schnittstelle optimal zu gestalten. Besonders bei Nutzungskontexten mit hoher Komplexität soll das iterative Vorgehen dabei helfen, ein HMI zu entwickeln, das den Nutzer bei seiner Arbeit unterstützt, anstatt ihm zusätzliche Aufmerksamkeit abzuverlangen. Allerdings führt u. a. die hohe Komplexität dazu, dass Bewertungskriterien für die Gestaltung und Funktionalität des HMI schwierig zu definieren sind und der aktuelle Stand des Konzepts schwer beschreibbar ist.

Bei dem in DIN EN ISO 9241-210 beschriebenen Vorgehen kommen unterschiedliche Perspektiven zum Tragen, wie die subjektive Bewertung des zu entwickelnden HMI durch den zukünftigen Nutzer, aber auch die Bewertung aus arbeitswissenschaftlicher und gestalterischer Perspektive. Ziel eines solchen HMI kann dann eine möglichst gute Unterstützung der Ziele und Aufgaben des Anwenders und eine Verringerung möglicher Fehlbedienungen sein. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die Gebrauchstauglichkeit, welche sicherstellen soll, dass das HMI für den jeweiligen Zweck unter den jeweiligen Nutzungsbedingungen und für den konkreten Anwender geeignet ist (vgl. z. B. Röbig, König, Schwanke, Hofmann & Bruder, 2010a; König et al., 2012). Das Vorgehen nach DIN EN ISO 9241-210 verspricht außerdem eine höhere Akzeptanz des entwickelten Systems sowie eine frühzeitige Entdeckung und Korrektur von Gestaltungsproblemen.

Daher stellt sich die Frage, ob das menschenzentrierte Vorgehen auch bei der Entwicklung von HMI in der Flugsicherung unterstützen und die Gebrauchstauglichkeit vorhandener oder neuer Systeme verbessern kann, so dass sie optimal an die Bedürfnisse der jeweiligen Nutzer angepasst sind. Hierbei sind mehrere Aspekte bzw. Forschungsfragen zu klären:

- **Anwendbarkeit:** Lässt sich das in DIN EN ISO 9241-210 beschriebene Vorgehen zur Entwicklung von Human-Machine-Interfaces für Fluglotsen anwenden? Welche Anpassungen sind notwendig?
- **Datenlage:** Welche Daten sind als Grundlage vorhanden? Was muss im Bereich Flugsicherung berücksichtigt werden?
- **Ergebnisqualität:** Zu welchem Ergebnis würde man bei der Anwendung kommen?
- **Bewertung einer Gestaltungslösung:** Welche Kriterien eignen sich, um die Qualität des HMI zu bestimmen?
- **Dokumentation & Darstellung:** Wie lässt sich das Vorgehen in geeigneter Weise darstellen, so dass Erkenntnisse und ihre Veränderungen über den Prozess nachvollziehbar werden?

1.4 Vorgehen

Mit der Entwicklung von HMI für den Nutzungskontext „Flugsicherung“ sowie der Definition von Bewertungskriterien beschäftigt sich diese Dissertation. Sie untersucht, wie ein iterativer Gestaltungsprozess begleitet, organisiert, koordiniert sowie dokumentiert werden kann, um ein gebrauchstaugliches HMI für den Einsatz in der Flugsicherung zu erhalten.

Zu Beginn wird der Stand der Forschung im Bereich allgemeiner Prozessmodelle sowie nutzerzentrierter Vorgehensmodelle für die Entwicklung von HMI im Arbeitskontext festgestellt. Im nächsten Schritt werden die einzelnen Schritte des Vorgehens nach DIN EN ISO 9241-210 analysiert und auf ihre Anwendbarkeit im Flugsicherungskontext mit Berücksichtigung der besonderen Bedingungen bzgl. Komplexität und Sicherheit überprüft. In einem dritten Schritt werden die Anwendbarkeit der Norm sowie die daraus folgenden Auswirkungen anhand empirischer Daten in drei Fallbeispielen exemplarisch evaluiert. Basierend auf diesen Erfahrungen wird anschließend ein Vorgehensmodell vorgestellt, welches basierend auf DIN EN ISO 9241-210 an die besonderen Bedingungen der HMI-Entwicklung in der Flugsicherung angepasst ist und sich zur Strukturierung, Begleitung und Dokumentation von menschenzentrierten Entwicklungsprozessen eignet.

2 Stand der Forschung

Die Entwicklung von Human-Machine-Interfaces kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Als Interface, Human-Machine-Interface, HMI oder Benutzungsschnittstelle bezeichnet werden dabei

alle Bestandteile eines interaktiven Systems (Software oder Hardware), die Informationen und Steuerelemente zur Verfügung stellen, die für den Benutzer notwendig sind, um eine bestimmte Arbeitsaufgabe mit dem interaktiven System zu erledigen (DIN EN ISO 9241-210, S. 7).

Vorgehens- bzw. Prozessmodelle aus unterschiedlichen Anwendungskontexten und Disziplinen beschreiben Voraussetzungen, Vorgehen und mögliche Schwierigkeiten bei der Entwicklung von (interaktiven) Produkten, um ein strukturiertes Vorgehen zu ermöglichen, Fehlentwicklungen zu vermeiden und die gewünschten Ergebnisse und -qualitäten zu erhalten. Jedes Vorgehen weist jedoch Vor- und Nachteile auf und eignet sich nicht für alle Anwendungsbereiche und Produkte, so dass die Auswahl eines geeigneten Vorgehensmodells eine wesentliche, wenngleich herausfordernde Aufgabe darstellt, welche von den Beteiligten nicht immer optimal gelöst wird. Daher werden in diesem Kapitel zunächst Entwicklungsprozesse aus dem Flugsicherungsbereich beschrieben. Anschließend werden ausgewählte allgemeine Vorgehens- bzw. Prozessmodelle sowie Ansätze mit besonderer Berücksichtigung der Nutzer vorgestellt, welche zur HMI-Entwicklung eingesetzt werden können.

2.1 HMI-Entwicklung in der Flugsicherung

Die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH gehört zu den High Reliability Organisationen (HRO), gekennzeichnet durch hohe Komplexität und Interaktivität sowie einen hohen Sicherheitsstandard (Bruder & Leonhardt, 2010). Benutzungsschnittstellen (HMI) werden häufig, wie in der klassischen Systementwicklung üblich, technikzentriert mit nur geringer Berücksichtigung der Bedürfnisse der Anwender entwickelt (Bruder et al., 2009). Der mangelnde Einbezug ergonomischer, organisatorischer, sozialer und politischer Aspekte kann zu Schwierigkeiten bei der Systembenutzung führen, so dass Bruder et al. (2009) die Partizipation der zukünftigen Nutzer empfehlen. Unterschiedliche Projekte und Studien zeigen bereits Ansätze zum nutzerzentrierten Vorgehen zur Systematisierung und Optimierung des Entwicklungsprozesses im Flugsicherungskontext.

Benel und Benel (1998) weisen auf einen Ansatz zur Systementwicklung hin, welcher beim U.S. Department of Defence in den 1980er Jahren durch einen Übergang von einem linearen zu einem evolutionären Vorgehen zu einem Paradigmenwechsel führte. Schon zu diesem Zeitpunkt wurde

festgestellt, dass traditionelle Vorgehensweisen ohne Einbezug der Nutzer langfristig keine adäquaten Ergebnisse hervorbringen, und dass ein systematisches, iteratives und partizipatives Vorgehen für die Flugsicherung notwendig ist, welches beispielsweise von der FAA in einem vierstufigen Framework umgesetzt wurde. Aus einer Untersuchung zum Informationsbedarf sowie zu der Nutzung vorhandener Informationsquellen an unterschiedlichen Lotsenarbeitsplätzen leitete ein Team von Booz-Allen-Hamilton (2006) für die FAA modulare Gestaltungsregeln für zukünftige Arbeitsplätze ab. McNeese (2002) stellt fest, dass selbst bei der Gestaltung von Systemen im militärischen Bereich der Schwerpunkt noch zu wenig auf der menschlichen Komponente liegt. Eine Untersuchung von Koros, Della Rocco, Panjwani, Ingurgio und D'Arcy (2006) zu Komplexitätsfaktoren in Towern weist auf die Bedeutung der Anwenderbedürfnisse hin und empfiehlt ein nutzerzentriertes Vorgehen mit Berücksichtigung der Informationsbedürfnisse und -quellen sowie einem fundierten Verständnis der dem Handeln zugrundeliegenden Strategien der Lotsen. Durso, Johnson und Crutchfield (2010) berichten aus einer Studie zur Bestimmung des Informationsbedarfs von Towerfluglotsen mittels einer Kombination von Simulation und Anwenderbefragung zur Ableitung von Gestaltungsregeln.

Der Human Factors Design Standard der Federal Aviation Administration (2003) stellt präzise und standardisierte Anforderungen an technische Geräte in der Flugsicherung zusammen, wie z. B. Verlässlichkeit, Einfachheit und benutzerzentriertes Vorgehen im Entwicklungsprozess, erläutert diese detailliert und begründet sie sachlich mit Quellenangaben. Für die Auswahl geeigneter Ein- und Ausgabemedien werden Entscheidungshilfen gegeben und insbesondere die Bedeutung der Nutzerintegration wird hervorgehoben. Cardosi und Murphy (1995) stellen zudem eine Checkliste zur Verfügung, welche die zu erfüllenden Eigenschaften von Arbeitsplätzen und HMI in der Flugsicherung zusammenstellt und Anwendern sowie Entwicklern als Diskussionsgrundlage und Hilfestellung bei der Festlegung von Anforderungen und Evaluationen dienen soll.

Mehrere Projekte der Eurocontrol beinhalten die Anforderungserhebung und Entwicklung von interaktiven Systemen in der Flugsicherung. Das Projekt HERA (Human Error in Air Traffic Management, z. B. Isaac et al., 2002a; Isaac et al., 2002b; Pariès, Bieder, Reson & Isaac, 2003) untersuchte die Ursachen menschlicher Fehler in der Flugsicherung und leitete eine Analysemethodik sowie Implikationen für das Training von Lotsen und die Gestaltung der Arbeitsumgebung ab. Pinska (2007) untersuchte die Eigenschaften und Relevanz unterschiedlicher visueller Informationsquellen im Tower am Flughafen Warschau sowie das Blick- und Informationsgewinnungsverhalten der Lotsen unter verschiedenen Verkehrs- und Sichtbedingungen. Eine Studie von Hilburn (2004) zum Blickverhalten von Lotsen an drei europäischen Flughäfen prognostiziert eine geringere Nutzung der Außensicht im Tower durch neue technische Systeme und damit zunehmende

Schwierigkeiten der Lotsen, ihre Aufmerksamkeit auf geeignete Weise zwischen den einzelnen Informationsquellen aufzuteilen. Das Projekt Integrated Tower Working Position (z. B. Dubuisson & Eriksen, 2006; Dubuisson & Eriksen, 2007; Dubuisson, Lane & Eriksen, 2009) hatte die Gestaltung eines zukünftigen Lotsenarbeitsplatzes durch einen iterativen, nutzerzentrierten Gestaltungsprozess zum Ziel. Als wesentliches Problem wurde dabei die Vielzahl an Ein- und Ausgabegeräten in einem Tower gesehen, welche vom Lotsen eine hohe Aufmerksamkeit für die Bedienhandlungen erfordert und zu Fehlern führt. Der Schwerpunkt des Projekts lag auf der Anforderungserhebung. Die Umsetzung und Evaluation von Konzepten war jedoch ebenfalls ein, wenn auch kleinerer, Teil. Weitere Projekte hatten beispielsweise die Analyse und Beschreibung der Tätigkeiten von Fluglotsen (Kallus, Barbarino & van Damme, 1998; Kallus, van Damme & Dittmann, 1999) oder die Entwicklung eines Tools zur Konfliktlösung (Kirwan & Flynn, 2002) zum Ziel. Alle diese Projekte beschreiben mehr oder weniger explizit ein mehrstufiges, teilweise iteratives Vorgehen, welches sich jedoch von Projekt zu Projekt unterscheidet. Die Berücksichtigung der Ergonomie sowie der jeweiligen Arbeitsaufgaben und Umgebungsbedingungen als wesentliche Voraussetzung für ein gebrauchstaugliches HMI sind jeweils wesentliche Teile der meisten Projekte.

Marti (1998) schlägt zur Entwicklung von interaktiven Systemen für komplexe Umgebungen wie beispielsweise der Flugsicherung ein Vorgehen in drei Schritten vor. Die Methode MUSE beginnt mit einer Datensammlungs- und Analysephase, anschließend erfolgen Designentwurf und -spezifikation; Grundlage bildet eine ausführliche Aufgabenanalyse.

In Deutschland ist ein umfassendes Regelwerk sowie ein standardisiertes Vorgehen bei der Entwicklung von HMI nicht verfügbar. Die Gestaltung von Arbeitsplätzen bzw. Arbeitsmitteln bei der Deutschen Flugsicherung wird im Allgemeinen von Entwicklungsteams bestehend aus Ingenieuren und früheren Fluglotsen vorgenommen (Perott, Schader, Bruder & Leonhardt, 2012), welche Kenntnisse und Erfahrungen im Flugsicherungsbereich, jedoch nicht immer im Bereich Human Factors oder HMI-Entwicklung aufweisen. Zwar sind Regelwerke und ergonomisches Wissen vorhanden, jedoch nicht bei jedem Entwickler und nicht immer direkt verfügbar. Der Austausch zwischen Entwicklern, häufig an unterschiedlichen Standorten, wird durch eine nicht unternehmenseinheitliche Vorgehensweise und das Fehlen einer gemeinsamen Wissensbasis erschwert, so dass Design-Entscheidung eines Entwicklers nicht immer für Kollegen nachvollziehbar sind.

Eine wesentliche Basis für die Gestaltung von Arbeitsplätzen bilden traditionell physiologische, psychologische und arbeitswissenschaftliche Studien. So leiteten beispielsweise Untersuchungen von Rohmert (Rohmert, 1973; Rohmert, 1975) zu der psycho-physiologischen Belastung und Beanspruchung von Fluglotsen einen Bedarf an technischer, ergonomischer und organisatorischer Gestal-

tung ab und prognostizierten vor allem Veränderungen in der informationstechnischen Ausstattung, z. B. durch eine computergestützte Darstellung von Radardaten. Eine Studie von Vogt, Adolph, Ayan, Udovic und Kastner (2002) vergleicht die Auswirkungen von erhöhtem Verkehrsaufkommen auf die Beanspruchung von Center-Lotsen bei zwei unterschiedlichen Systemen.

Ein Teil der Entwicklungsprojekte nutzt ebenfalls ein benutzerzentriertes Vorgehen. Im Rahmen des Projekts Aviator 2030 führten Bruder et al. (2009) Workshops mit deutschen Fluglotsen durch, um Anforderungen an zukünftige Benutzungsschnittstellen zu erheben. Der Einsatz von unreifen, ohne Einbeziehung der zukünftigen Nutzer entwickelten Systemen mit mangelnder Usability wurde dabei von den beteiligten Lotsen als Gefahr gesehen. Ziel sei die Entwicklung von gut bedienbaren, für die Wahrnehmung optimierten und an die Aufgabe sowie den jeweiligen Benutzer angepassten Systemen, welche die Überwachung der komplexen Prozesse in der Flugsicherung gut ermöglichen. Schnittstellen zwischen Systemen sowie Systemeingaben sollten möglichst verringert werden, z. B. indem mehrere Einzelsysteme in ein übergreifendes System integriert werden.

Fricke, Grundmann, Schmid und Nielsen (1997, vgl. auch Hauß & Eyferth, 2003) entwickelten einen Prototypen für einen zukünftigen Lotsenarbeitsplatz unter Berücksichtigung von Data Link und weiteren kooperativen, sprachfreien Boden-Bord-Kommunikationsweisen. Das so genannte anthropotechnische Vorgehen mit Fokus auf den künftigen Anwendern und Aufgaben wird als wesentlich für den Projekterfolg betrachtet (Fricke, Dehn & Müller, 2000). Darauf aufbauend beschreibt Burmeister (1996) das benutzer- und aufgabenorientierte Vorgehen bei der Gestaltung einer grafischen Benutzeroberfläche für Exekutiv- und Koordinationslotsen.

Zur Verbesserung des Gestaltungsprozesses von Arbeitsplätzen und dem bedarfsgerechten Bereitstellen von ergonomischem Wissen für Entwickler und Entscheider wird seit 2009 eine Software zu ergonomischem Wissen sowie ein Prozessmodell zum Vorgehen bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen entwickelt (z. B. Bruder & Leonhardt, 2010; Perott, Helbig, Bruder & Leonhardt, 2011; Perott et al., 2012). Das Projekt „Design Process Guide“ wird in einer Kooperation der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH und des Instituts für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt bearbeitet. Relevante interne und externe Quellen wie beispielsweise Normen, Ergebnisse eigener Studien sowie Fachliteratur werden gesammelt und für die Entwickler und Entscheider gut nutzbar aufbereitet. Dabei wird u. a. der Frage nachgegangen, wie der Austausch und die Weitergabe von Gestaltungswissen und -erfahrungen im Unternehmen gefördert werden können.

Es stellt sich somit die Frage, ob die vorhandenen Ansätze zur Entwicklung von HMI in der Flugsicherung nicht schon ausreichen. Allerdings fokussieren viele dieser Ansätze eher auf konkrete Anforderungen, zu erhebende Daten oder einzusetzende Methoden. Ein HMI für die Flugsicherung ist jedoch unter anderem ein interaktives Produkt und ein Arbeitsmittel, welches die Arbeitsprozesse unterstützen soll. Um dieses zu leisten, sind hohe Ansprüche an die Gebrauchstauglichkeit zu stellen. Daher erscheint es sinnvoll, diese bei der Entwicklung in den Mittelpunkt zu stellen, um ein aus Nutzersicht möglichst gut nutzbares Produkt zu erhalten.

2.2 Entwicklungsprozess-Modelle

Entwicklungsprozess-Modelle haben häufig zum Ziel, neue und innovative technische Lösungen zu entwickeln sowie aktuelle und zukünftige Probleme zu lösen (z. B. Pahl, Beitz, Feldhusen & Grote, 2007). Zum strukturierten Vorgehen bei der Gestaltung von Produkten sind zahlreiche Ansätze aus unterschiedlichen Disziplinen verfügbar. Da sie auf eine Vielzahl von Problemstellungen anwendbar sein sollen, werden sie häufig abstrakt formuliert und beschreiben idealtypisch einzelne Tätigkeiten und Arbeitsschritte, Ziele und Meilensteine, aber auch zu erfüllende Bedingungen, Varianten und Methoden. Dies kann dazu führen, dass die Vorgehensmodelle nicht berücksichtigt werden, da im Projektteam bevorzugt praktische Aufgaben und Problemstellungen bearbeitet werden und eine pragmatische Lösung ohne theoretische Orientierung am sinnvollsten erscheint. Ein Entwicklungsmodell kann jedoch einem Projektteam dabei helfen, das eigene Vorgehen besser zu strukturieren und zu reflektieren sowie Rückschlüsse über die fachliche Perspektive der einzelnen Beteiligten zu ziehen. Jede Disziplin verfügt über spezifische Modelle, einige werden jedoch disziplinübergreifend eingesetzt, mitunter variiert oder anders benannt. Im Folgenden werden ausgewählte Entwicklungsprozess-Modelle beschrieben, welche zur Entwicklung eines HMI angewendet werden könnten. Sie behandeln alle, mehr oder weniger ausführlich, die Frage, wie ein Gestaltungsprozess begleitet, organisiert, koordiniert und dokumentiert werden kann und sollte.

2.2.1 Allgemeine Perspektiven

Generell wird empfohlen, sich an Vorgehensmodellen zu orientieren, um ein Produkt zielgerichteter zu entwickeln (Lindemann, 2009; Dahm, 2006). Le Corbusier (1931) bezeichnet den Vorgehensplan als „generator“ (S. 109) und stellt fest: „Without a plan, you have lack of order, and wilfulness. The Plan holds in itself the essence of sensation.“ (S. 44). Software-Prozesse misslingen oft aufgrund schlechter Kommunikation zwischen Entwicklern und Anwendern bzw. Auftraggebern (Shneiderman & Plaisant, 2005) oder aufgrund fehlender Akzeptanz des Produkts beim Anwender (Dahm, 2006). Klassische Software-Entwicklungsprozesse helfen nicht immer weiter, da sie den Nutzer

häufig nicht mit einbeziehen und sich daher nicht gut für die Entwicklung gebrauchstauglicher Produkte eignen, bei denen das subjektive Urteil der Nutzer eine wesentliche Rolle spielt (Eason, 1995). Daher stellt sich die Frage, welche Modelle und grundlegenden Prinzipien sich zur Entwicklung von HMI eignen.

Grundlegende Prinzipien

Basis der meisten Vorgehensmodelle sind grundlegende Sichtweisen und Prinzipien zum Vorgehen, die dann ausgewählt, kombiniert und angepasst werden. Cushman und Rosenberg (1991) beschreiben unterschiedliche Strategien zum Vorgehen, wie z. B. „random-walk“, „top-down“ und „bottom-up“ (S. 207-208). Daenzer und Huber (2002) nennen das Vorgehen vom Groben ins Detail sowie das Denken in Alternativen, Pahl et al. (2007) das Entwickeln vom Abstrakten zum Konkreten. Weitere wesentliche Prinzipien sind außerdem die systemische Perspektive bzw. der Systemgedanke (Daenzer & Huber, 2002), d. h. die Betrachtung eines Problems als Teil eines Gesamtsystems, die Reduktion auf ein handhabbares Komplexitätsniveau und die Variabilität von Systemgrenzen, sowie diskursives Vorgehen (Wulf, 2002). In der Praxis werden häufig mehrere Strategien angewendet und zu umfassenderen Gestaltungsstrategien kombiniert (Hartmann, 2005): Die deduktiv-normative Gestaltungsstrategie versucht, durch Ableitung von Gestaltungsregeln und grundlagenwissenschaftlichen Erkenntnissen (Deduktion) eine optimale Lösung zu finden und dabei bestehende Normen anzuwenden, weiterzuentwickeln und neu festzulegen (normativ). Die iterativ-partizipative Gestaltungsstrategie bzw. Prototyping-Strategie strebt eine optimale Lösung durch eine schrittweise Optimierung an (iterativ) und integriert dabei die zukünftigen Nutzer (partizipativ, vgl. auch Bunse & Knethe, 2002), häufig unter Einsatz von Prototypen (Prototyping). Deduktiv-iterative Strategien leiten zunächst Wissen aus bestehenden Erkenntnissen ab und wenden dieses dann auf eine konkrete neue Fragestellungen an (Hartmann, 2005). Dies kann notwendig sein, wenn der Entwickler aufgrund des hoch komplexen Einsatzbereichs über ein umfassendes bereichsspezifisches Wissen verfügen muss.

Technik- und menschenzentriertes Vorgehen

Die Systementwicklung für Human-Machine-Interfaces ist im Allgemeinen stark technisch geprägt und wird von Informatikern und Ingenieuren geplant und durchgeführt (vgl. Schlick, Bruder & Luczak, 2010). Bei diesem technikzentrierten Vorgehen, orientiert z. B. am Entwicklungs- und Konstruktionsprozess nach Pahl et al. (2007) mit den vier Phasen „Planen und Klären der Aufgabe“, „Konzipieren“, „Entwerfen“ und „Ausarbeiten“, stehen das Aufgliedern der Gestaltung in leichter kalkulierbare Teilschritte sowie die Anwendung standardisierter Lösungswege im Mittelpunkt. Eine Lösung ergibt sich durch das Zusammenfügen der Teillösungen. Bei frühen Korrekturen sind die

Kosten noch vergleichsweise niedrig, mit zunehmender Entwicklungszeit steigt auch der Aufwand bei Korrekturen (vgl. z. B. Schlick et al., 2010). Dagegen wird das menschen- bzw. benutzerorientierte Vorgehen eher als Problemlösezyklus gesehen, in dem „Gestaltungslösungen gesucht, durch potenzielle Benutzer bewertet und anhand der (...) Anforderungen präzisiert oder gegebenenfalls wieder verworfen werden“ (Schlick et al., 2010, S. 1117). Das benutzerzentrierte Vorgehen wird in unterschiedlichen Bereichen angewendet, wie z. B. in der Medizintechnik oder Fahrzeugtechnik (vgl. Schlick et al., 2010). Der Prozess zur Erreichung der Gebrauchstauglichkeit läuft im schlechtesten Fall parallel zum Software-Prozess, bzw. wird mit geringerer Priorität verfolgt, so dass häufig nur eine abschließende Evaluation vorgesehen ist (Sarodnick & Brau, 2006). Ein Abgleich dieser beiden Prozesse oder sogar eine Integration ist jedoch wünschenswert (Sarodnick & Brau, 2006; Schlick et al., 2010). Ansätze stellen beispielsweise Hix und Hartson (1993), Granollers, Lorés und Perdrix (2003) sowie Nebe, Zimmermann und Paelke (2008) vor.

Auswahl und Anpassung eines Vorgehens

Bei der Auswahl eines Vorgehens spielen nicht nur das zu entwickelnde Produkt, der Umfang und die Komplexität des Problems oder die Umgebungsbedingungen eine Rolle, sondern auch die Qualifikation, fachliche Herkunft (Disziplin) und Erfahrung der Entwickler. Benötigt wird unter anderem eine Methodenkompetenz, die den Entwicklern erlaubt, ein geeignetes Vorgehen auszuwählen und ggf. das gewählte Vorgehen auf die aktuell vorliegende Situation anzupassen (vgl. Zetker, 2011; Bunse & Knethe, 2002). Bei geringer Methodenkompetenz bleibt dem Entwickler nur die Orientierung an vorkonfiguriertem Vorgehen, eine Anpassung wird ihm schwer möglich sein. Mit zunehmender Methodenkompetenz verändert sich daher der Nutzen, den ein Entwickler aus einem Vorgehensmodell ziehen kann, von einem Leitfaden, der einem jeden Schritt vorgibt hin zu einem unverbindlichen Vorschlag als Ausgangspunkt für eine individuelle Vorgehensstrategie. Die Anpassung einer vorhandenen Strategie an die Kompetenzen des Teams sowie den aus dem Projekt abgeleiteten Bedarf erfordert ein hohes Abstraktionsvermögen der Teammitglieder. Gelingt dies jedoch nicht und ist das Vorgehensmodell nicht geeignet oder nicht ausreichend angepasst, wird das Potential des Projektteams bzgl. Zeit, Kosten und Qualität nicht vollständig genutzt (Dobberkau, 2002).

2.2.2 Vorgehensmodelle

Aus allgemeinen Prinzipien lassen sich nur schwer konkrete Handlungsschritte für die Entwicklung von HMI ableiten. Dies gelingt besser mit Entwicklungsprozess-Modellen, welche unterschiedliche Vorgehensweisen beschreiben und so versuchen, Verzögerungen und Fehlentwicklungen zu vermeiden. Prinzipiell lassen sich die meisten Modelle einer von zwei Gruppen mehr oder weniger zuordnen: Den sequentiellen Modellen (Wasserfallmodellen) oder den iterativen Modellen. Viele Vor-

gehensmodelle enthalten jedoch Eigenschaften aus beiden Gruppen, kombinieren z. B. einzelne, abgegrenzte Prozessschritte mit einzelnen Iterationen, oder integrieren zusätzliche Aktivitäten.

Eigenschaften von Vorgehensmodellen

Vorgehensmodelle sind Muster, welche dem Anwender vorschlagen, zu welchem Zeitpunkt einzelne Aktivitäten im Projekt ausgeführt werden sollten (Lindemann, 2009). So strukturieren sie die Handlung und erlauben dem Anwender, seine aktuelle Position im Projektverlauf festzustellen, die nächsten Aktivitäten zu planen sowie sein Handeln zu reflektieren, was insbesondere bei komplexen Problemstellungen und umfangreichen Aufgaben wichtig ist. Vorgehensmodelle können unterschiedliche Ziele haben, wie z. B. Kostenminimierung oder Integration mehrerer Disziplinen.

Die Vielzahl von Modellen könnte zu dem Eindruck führen, für jedes Problem und Anwendungsfeld gäbe es eine optimale Vorgehensweise, die auch vom Projektteam eingesetzt wird. Häufig sind Entwickler jedoch nicht in der Lage, ein Modell auszuwählen, da sie nicht alle möglicherweise geeigneten Modelle kennen oder durch die große Zahl bei der Auswahl überfordert sind. Auch sind die jeweiligen Bedingungen der einzelnen Modelle, die Vor- und Nachteile oder die Anforderungen, die sich aus dem Projekt ergeben, nicht vollständig bekannt bzw. werden nicht berücksichtigt. Ob ein Vorgehensmodell sich für den konkreten Anwendungsfall eignet, lässt sich anhand unterschiedlicher Kriterien bestimmen. So spielen sicherlich die benötigten personellen, sachlichen und informationsbezogenen Ressourcen eine Rolle (Ressourcenintensität, vgl. Zetker, 2011), welche u. a. durch die Anzahl der beteiligten Disziplinen und umgesetzter Prototypen bestimmt werden. Auch muss sich das Vorgehen inhaltlich und strukturell für die vorliegenden Bedingungen eignen, muss also z. B. ausreichend komplex oder leicht genug verständlich sein. Weitere Auswahlkriterien sind die Anpassungsfähigkeit des Vorgehens an die konkrete Situation (z. B. durch Verändern, Auslassen oder Neukombination von Vorgehenschritten), die Vermittelbarkeit (Verständlichkeit für den Anwender), die Nutzerintegration und die Eignung für umfangreiche und komplexe Aufgabenstellungen sowie instabile Anforderungen (lösbares Aufgabenniveau). Diese Kriterien sind teilweise voneinander abhängig. So steigt die Ressourcenintensität mit zunehmender Nutzerintegration und lösbarem Aufgabenniveau. Eine starke Anpassungsfähigkeit bzw. Flexibilität verringert die Vermittelbarkeit, da die eigentliche Struktur des Vorgehens zwischen den vielen möglichen Variationen des Vorgehens nicht mehr gut sichtbar ist.

Systematisierung von Modellen

Vorgehensmodelle lassen sich auf unterschiedliche Weisen systematisieren.

Eine Unterscheidung nach zugrunde liegender **Disziplin** berücksichtigt die individuelle fachliche Perspektive bzw. den fachlichen Zusammenhang. So gibt es z. B. Vorgehensmodelle aus der Soft-

wareentwicklung (Informatik, z. B. Pomberger & Blaschek, 1993), aus der Ingenieursperspektive (z. B. Pahl et al., 2007) oder den Wirtschaftswissenschaften (z. B. Imai, 1993). Jedoch zeigt die Praxis, dass insbesondere Mensch-Maschine-Schnittstellen meistens von interdisziplinären Teams entwickelt werden, so dass ein monodisziplinäres Vorgehensmodell nicht sinnvoll ist.

Eine weitere Möglichkeit zur Systematisierung bietet die Einordnung aufgrund des **Detaillierungsgrads**. Auf der mikrologischen Ebene werden vor allem elementare Handlungsabläufe, teilweise auch operative Arbeitsschritte geplant bzw. beschrieben. Sie verdeutlichen elementare Denk- und Handlungsabläufe und eignen sich besonders für kleinere Aufgaben. Modelle auf dieser Ebene sind z. B. das TOTE-Modell (Miller, Galanter & Pribram, 1974), der VVR-Zyklus (Hacker, 2005), oder der PDCA-Zyklus bzw. Deming-Kreis (Plan-Do-Check-Act, vgl. Imai, 1993). Auf der makrologischen Ebene liegt der Fokus auf dem Gesamtprojekt, dementsprechend sind sie eher grobkörnig und beschreiben grundlegende Vorgehensschritte. Modelle auf dieser Ebenen sind z. B. VDI-Richtlinie 2221 (1993; vgl. auch Schroda, 2000 und Conrad, 2010), das so genannte „V-Modell“ aus der VDI-Richtlinie 2206 (2004; Ponn & Lindemann, 2008) oder das in DIN EN ISO 9241-210 beschriebene Vorgehen (2011). Zu den operativen Vorgehensmodellen mit mittlerem Detaillierungsgrad gehören der Problemlösungs-Zyklus des Systemengineering (Daenzer & Huber, 2002) das Münchner Vorgehensmodell (Lindemann, 2009), das Vorgehensmodell nach ARIS (Altschuller, 1998) oder das Spiralmodell (vgl. Boehm, 1988; Litke, 2007; Bunse & Knethe, 2002). Eine detailliertere Analyse und Einordnung von Vorgehensmodellen u. a. anhand ihres Detaillierungsgrads nimmt Zetker (2011) vor. Häufig erfordert das Projekt die Kombination mehrerer Vorgehensmodelle unterschiedlicher Ebenen, so dass sowohl Detailfragen geklärt werden können als auch der große Zusammenhang nicht aus den Augen gerät.

2.2.3 Sequentielle Modelle

Sequentielle Modelle (Gieth, Menge & Ritz, 1996), klassische Phasenmodelle bzw. ein Vorgehen gemäß des System Engineerings wurden u. a. nach 1960 in der Software-Entwicklung verwendet, um Software zielgerichteter bzw. mit mehr Erfolg entwickeln zu können (Specker, 2001; Pomberger & Blaschek, 1993).

Bei einem sequentiellen Vorgehen wird ein HMI bzw. Software phasenweise entwickelt, die einzelnen Schritte sind klar voneinander abgegrenzt und folgen linear aufeinander (Manhartsberger & Musil, 2001; Bunse & Knethe, 2002; Abbildung 1). Jede Phase beinhaltet nur eine Tätigkeit (Specker, 2001), welche im Entwicklungsprozess auch nur ein Mal, vollständig und umfassend, durchgeführt wird, vorzugsweise durch einen Experten auf diesem Gebiet. Phasen werden durch eine Qualitätskontrolle bzw. durch Meilensteine abgeschlossen (Bunse & Knethe, 2002), bei dieser

Gelegenheit wird über die weitere Fortführung des Projekts entschieden (Specker, 2001). Zu Beginn einer Phase werden die Ergebnisse der vorhergehenden noch einmal nachvollzogen und ggf. verfeinert. Die Entwicklung ist nach vorne gerichtet (Manhartsberger & Musil, 2001; Specker, 2001). Versäumnisse in einer Phase werden eher in der darauf folgenden ausgeglichen. Rückschritte in eine frühere Phase erfolgen nur selten und nur maximal einen Schritt zurück. Da Fehlerkorrekturen umso teurer sind, je später im Prozess sie vorgenommen werden, sollten Fehler möglichst früh entdeckt werden (Specker, 2001). Nutzer werden im Allgemeinen überhaupt nicht (Sarodnick & Brau, 2006) bzw. nur am Ende zur Evaluation (Manhartsberger & Musil, 2001) hinzugezogen. Allerdings sind in modifizierten Wasserfallmodellen Prototypen vorgesehen, welche zur Visualisierung des aktuellen Stands und als Diskussionsgrundlage dienen können.

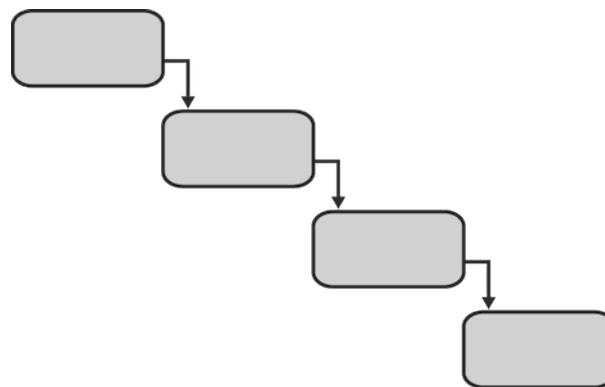


Abbildung 1: Prinzip der sequentiellen Modelle

Sequentielle Modelle existieren in vielen Varianten (Gieth et al., 1996), welche sich v. a. durch die Anzahl der Stufen, die Detaillierung der jeweiligen Inhalte sowie die Ausrichtung an einen spezifischen Anwendungskontext unterscheiden. Das traditionelle Wasserfallmodell von Royce (1970, vgl. Pomberger & Blaschek, 1993; Boehm, 1986) beschreibt sieben Stufen zur Entwicklung umfangreicher Software-Systeme, von der Erfassung der System- und Software-Anforderungen über die Programmierung zum Testen und Anwenden. Eine Variante nach Dahm (2006) beschreibt mit Konzeption, Analyse, Design, Implementierung, Test, Inbetriebnahme sowie Betrieb und Wartung ebenfalls sieben Phasen für einen Software-Entwicklungsprozess. Das Vorgehensmodell nach VDI 2221 (1993) stellt ein vergleichbares Vorgehen vor und legt zusätzlich die Beschreibung der Ergebnisse jeder Phase in Form von Dokumenten fest, welche die Grundlage der nächsten Phase bilden. Das so genannte „V-Modell“ nach VDI 2206 (2004) zur Entwicklung mechatronischer Systeme kombiniert einen umfassenden Systementwurf mit Unterentwürfen der einzelnen Disziplinen und gliedert sich in die Schritte Anforderungen, Systementwurf, Domänenspezifischer Entwurf, Systemintegration und Produkt. Dabei werden immer wieder Modelle gebildet und analysiert sowie ein Abgleich von Produkteigenschaften mit den Anforderungen vorgenommen.

Ein wesentlicher Vorteil von sequentiellen Modellen ist, dass jede Phase vollständig abgeschlossen und dokumentiert werden kann (Bunse & Knethe, 2002). Dies unterstützt eine Qualitätssicherung, sofern in jeder Phase die Erreichung des Phasenziels festgestellt werden kann. Die geringe Anzahl an entwickelten Varianten erleichtert das Versions- und Konfigurationsmanagement. Auch können die einzelnen Disziplinen zeitlich und räumlich getrennt voneinander arbeiten, sofern die Übergänge von einer Phase zur nächsten ausreichend definiert wurden, so dass der Übergang reibungslos klappt. Dahm (2006) nennt als weiteren Vorteil den einfachen Aufbau des Wasserfall-Modells.

Das Vorgehen birgt jedoch auch Probleme. Das streng serielle Vorgehen führt dazu, dass jeder Rückschritt den Projektablauf stört und zu hohen Kosten führen kann (Gieth et al., 1996), bzw. sich Verzögerungen in einer Phase auf die nächste auswirken. Häufig werden Entscheidungen schon vor Projektbeginn und top-down getroffen, Korrekturen und Anpassungen sind nicht im Projektablauf vorgesehen und werden mitunter bewusst vermieden. Da jede Phase von einer anderen Disziplin mit ihren eigenen Methoden und ihrer eigenen Fachsprache bearbeitet wird, kann der Übergang von einer Phase zur nächsten zu einem hohen Know-How-Verlust führen. Die Arbeitsteilung im Team kann außerdem zu Reibungsverlusten und Missverständnissen führen und die Zusammenarbeit beeinträchtigen (Specker, 2001).

Wird in der Evaluationsphase am Projektende oder sogar erst beim Einsatz beim Kunden festgestellt, dass Korrekturen notwendig sind, ist eine (mitunter teure) Nachbesserung notwendig.

Statt möglicher Probleme, die z. B. auf Grund der mangelnden Kommunikation entstehen können, im Vorfeld entgegenzuwirken, verschiebt man dies lieber auf den Zeitpunkt, an dem die Probleme während des Einsatzes ihre Wirkung zeigen, und versucht dann unter Zeitdruck das Problem zu lösen. (Gieth et al., 1996, S. 91).

Dies kann insbesondere bei komplexen Fehlern problematisch sein, wenn Fehler in einer frühen Phase entstanden und daher tief im Programm verstrickt sind. Gieth et al. (1996) nennen dies das „Bananenprinzip“, weil das Produkt grün ausgeliefert werde und erst beim Kunden reifen müsse, und nennt dies einen Missbrauch der Wartungs- bzw. Einsatzphase. Sie führen dies u. a. auf die fehlerhafte Annahme der Entwickler zurück, prinzipiell könne ein Entwicklungsprozess ohne Fehler durchgeführt werden, was jedoch nicht möglich sei, da „jede getroffene Annahme und jede Konstruktionsentscheidung eine mögliche Fehlerquelle darstellt“ (S. 93), und es außerdem eine nahezu unendliche Anzahl von Eingabe- und damit Testmöglichkeiten gäbe. Er schließt daraus, dass Fehler zum Entwicklungsprozess gehören und frühzeitig durch Zwischenevaluationen entdeckt werden sollten. Ein weiteres Problem der sequentiellen Vorgehensweise ist die Entstehung einer mangelnden Kommunikation zwischen Anwender bzw. Benutzer und Hersteller, welche zu Missver-

ständnissen und Fehlentwicklungen führt. Häufig werden die Anwender erst am Ende zur Evaluation eingesetzt, während in den früheren Phasen die Fachdisziplinen dominieren und damit der Fokus auf dem Produkt liegt.

2.2.4 Zyklische bzw. iterative Modelle

Als zyklisches, iteratives, evolutionäres, inkrementelles oder rekursives Vorgehen werden Vorgehensweisen bezeichnet, bei denen die einzelnen Aktivitäten mehrmals im Entwicklungsprozess durchgeführt werden (z. B. erster Designentwurf, Evaluation, zweiter Designentwurf, erneute Evaluation; Abbildung 2) (Bunse & Knethe, 2002; Specker, 2001). Eine Idee bzw. ein Produkt wird somit Schritt für Schritt kontinuierlich entwickelt, ergänzt, verfeinert und optimiert, bis das definierte Ziel erreicht ist:

Just as we can assert that no product has ever been created in a single moment of inspiration, so we can also say, without much fear of contradiction, that nobody has ever produced a set of requirements for any product in a similarly miraculous manner. These requirements may well begin with an inspirational moment but, almost certainly, the emergent bright idea will be developed by iterative processes of evaluation until it is thought to be worth starting to put pencil to paper. (Mayall, 1979, S. 103).

Erste Funktionalitäten werden schon früh erstellt; nach und nach werden weitere implementiert (Boehm, 1986). Dies ermöglicht beispielsweise die wiederholte Überprüfung der Qualität eines HMI sowie seine Anpassung aufgrund der Ergebnisse im Verlauf der Entwicklung (Wandmacher, 1993). Anpassungen der Ziele und Methoden sind so ebenfalls möglich.

Nutzer können in jeder Phase bzw. jeder Aktivität integriert werden, insbesondere jedoch zur Anforderungsdefinition und zur Bewertung von Gestaltungslösungen (Specker, 2001). Die meisten Vorgehensmodelle schlagen außerdem multidisziplinäre Teams vor, um unterschiedliches Know-How zu integrieren und mehrere Perspektiven auf den Gegenstand zu erhalten.

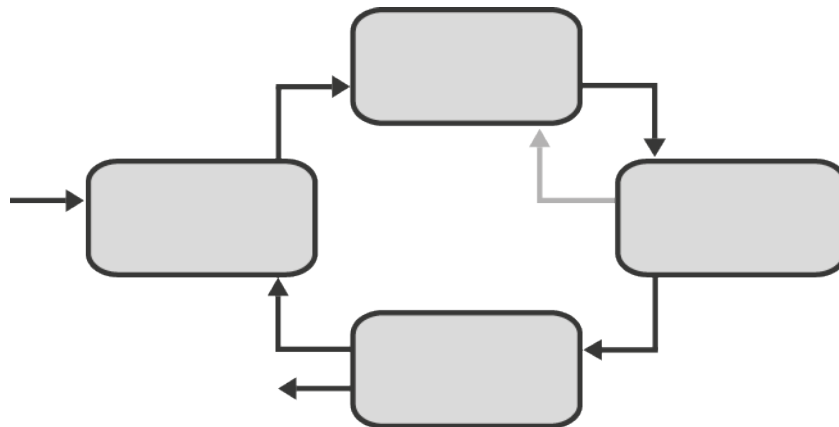


Abbildung 2: Prinzip der iterativen Modelle

Iterative Vorgehensmodelle gibt es in vielen Varianten. Das Spiralmodell nach Boehm (1988) beinhaltet mehrere Phasen, die mehrfach durchlaufen werden. Nach dem Festlegen der Ziele und der Planung des gesamten Produktlebenszyklusses werden Alternativen entwickelt und prototypisch umgesetzt, der aktuelle Stand validiert sowie der jeweilige nächste Zyklus geplant. Begonnen wird mit den stabilen, leicht beherrschbaren Anforderungen, erst im späteren Projektverlauf werden die eher kritischen Anforderungen bearbeitet. Die Erstellung von Prototypen ist vorgesehen. Die radiale Ausdehnung der Spirale repräsentiert den Aufwand des Projekts (Pomberger & Blaschek, 1993). Weitere Varianten sind das auf Kaizen basierende PDCA-Modell (Plan – Do – Check – Act), welches das sequentielle Abarbeiten eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses vorsieht (Imai, 1993) und das Münchner Vorgehensmodell (Lindemann, 2009) mit Zielplanung und -analyse, Problemstrukturierung, dem Ermitteln von Lösungsideen und Eigenschaften sowie dem Herbeiführen von Entscheidungen und Absichern der Zielerreichung als grundlegende Vorgehensweisen. Das inkrementelle Vorgehensmodell strebt eine kontinuierliche Verbesserung eines Arbeitssystems oder Produkts durch Zerlegung in Inkremente (Teilmengen) an, welche dann getrennt und mit absteigender Priorität bearbeitet werden können (Sarodnick & Brau, 2006). Iterative Vorgehensprinzipien beschreiben auch Genov (2005) sowie Cushman und Rosenberg (1991).

Ein wesentlicher Vorteil der iterativen Modelle ist die kontinuierliche Evaluation des Produkts (Specker, 2001). Die einzelnen Zwischenergebnisse können bewertet und die Ergebnisse wieder in die Entwicklung eingebracht werden, so dass Produktqualität und Aufgabenangemessenheit gefördert und alle relevanten Funktionalitäten umgesetzt werden (Specker, 2001). Die mehrfache Evaluation hilft, teure Fehlentwicklungen und Fehlanpassungen zu vermeiden (Dahm, 2006). Die Integration der zukünftigen Anwender in den gesamten Entwicklungsprozess und insbesondere die Umsetzung ihrer Vorschläge fördern die Nutzerakzeptanz (Jackson, 1980). Durch die kontinuierliche Zusammenarbeit entwickelt das Projektteam gemeinsam eine Vorstellung und eine gemeinsame

Sprache (Specker, 2001). Rauterberg (1994) nennt außerdem geringere Kosten als wichtigen Vorteil der iterativen Vorgehensweisen. Probleme ergeben sich u. a. durch die geringere Planbarkeit von Arbeitsinhalten, Zielen, Kosten und Bearbeitungszeiten, welche die Projektkalkulation und Erstellung konkreter Angebote erschweren (Specker, 2001). Zudem können durch Iterationen zahlreiche Entwurfsvarianten bzw. Versionen entstehen, welche ein umfangreiches Versions- und Konfigurationsmanagement erforderlich machen (Bunse & Knethe, 2002).

2.2.5 Prototypische Vorgehensmodelle

Die prototypischen Vorgehensmodelle leiten sich aus den sequentiellen Modellen ab, sehen jedoch zusätzlich die Erstellung von Prototypen vor, welche innerhalb jeder einzelnen Phase in einer iterativen Schleife evaluiert werden und maßgeblich über das Ergebnis dieser Phase mitbestimmen (Bunse & Knethe, 2002; Abbildung 3). Innerhalb der Phase gibt es daher häufig mehr als eine Version: der Basisentwurf wird nach Testen des Prototypen in eine neuere Version überführt. Je nach Phase erfüllen die Prototypen einen unterschiedlichen Zweck, z. B. der Überprüfung von unklaren Anforderungen oder der Überprüfung eines Gestaltungsentwurfs.

Da bei einem prototypischen Vorgehen mehrfach Prototypen erstellt werden, wird empfohlen, diese nicht zu aufwändig zu gestalten (Bunse & Knethe, 2002). Zu Beginn des Prozesses reichen häufig einfache Papierskizzen aus, um das Konzept zu evaluieren. Im weiteren Entwicklungsprozess, wenn das grundlegende Konzept festgelegt und nur noch kleinere Anpassungen geplant sind, kann der Prototyp dann zunehmend detaillierter, aufwändiger und kostenintensiver werden. Bei einfachen Prototypen fällt es leichter, das Konzept oder Varianten zu verwerfen, da noch vergleichsweise wenig Zeit und Mühe investiert wurden, und es besteht nicht die Gefahr, dass Auftraggeber und Nutzer Zwischenlösungen als fertige Lösungen sehen.

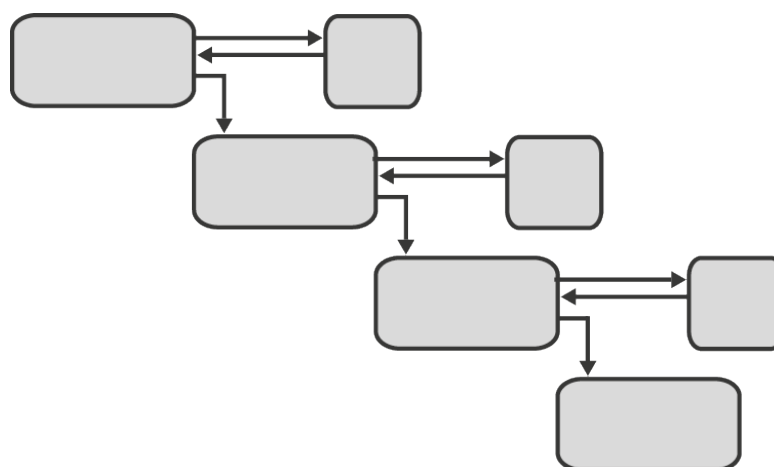


Abbildung 3: Prinzip der prototypischen Vorgehensmodelle

Einen Prototyping-orientierten Software-Life-Cycle stellen z. B. Pomberger und Blaschek (1993, S. 25) vor. Ein ähnliches Vorgehen nach dem Prinzip des agilen Software-Engineerings unter Einsatz von Mockups und Prototypen in frühen Projektphasen beschreiben Memmel, Gundelsweiler und Reiterer (2007, vgl. auch Memmel & Reiterer, 2008). Aufgrund der Integration von Prototypen wird auch das Spiralmodell von Boehm (1988) zu den prototypischen Vorgehensmodellen gezählt (Bunse & Knethe, 2002).

Der frühzeitige Einsatz von Prototypen ermöglicht das Entdecken von Fehlern zu einem frühen Zeitpunkt, so dass Anpassungen noch vergleichsweise leicht und kostengünstig möglich sind (Specker, 2001). Zudem erleichtern Prototypen die Kommunikation mit dem Auftraggeber, da der aktuelle Projektstand und Alternativen vorgestellt werden können.

Allerdings kann dieses Vorgehen nach dem Prinzip des Agilen Software-Engineering zu Unzufriedenheit beim Anwender führen, der sich durch die kontinuierlichen Veränderungen des Designs ständig an ein verändertes Bedienkonzept gewöhnen muss (Mammel et al., 2007). Auch ist das Vorgehen häufig aufwändiger als vergleichbare sequentielle oder iterative Vorgehensmodelle, und bei einer großen Anzahl von Varianten bzw. Prototypen ist auch hier ein Versions- und Konfigurationsmanagement notwendig (Bunse & Knethe, 2002).

2.2.6 Nutzerfokussierte bzw. Partizipative Vorgehensmodelle

Shneiderman und Plaisant (2005) stellten fest, dass ein HMI nicht für sich, abstrakt und im Labor gestaltet und evaluiert werden könne, da die Handlungen der Nutzer abhängig von ihrer aktuellen Umgebung sind und nur in diesem Kontext auch verstanden werden können. Dies führte insbesondere seit den 1980er Jahren zur Entwicklung partizipativer bzw. nutzerfokussierter Vorgehensmodelle.

Partizipation

Partizipation bedeutet, dass ein Beitrag zu einer Sache geleistet wird (Vroom & Jago, 1988). Die Partizipation der Mitarbeiter hat in Unternehmen Tradition und ist im Betriebsverfassungsgesetz (2001) festgeschrieben. Die Einführung neuer Software an den Arbeitsplätzen ist mitbestimmungspflichtig, wenn sie „wesentlich den Charakter des Arbeitsplatzes bestimmt“ (Dahm, 2006, S. 317). Dies gilt jedoch nicht direkt für die Entwicklung von Systemen, bei der Partizipation eine Systemgestaltung unterstützen soll, die einen „zweckmäßigen und wirksamen Einsatz von technischen Systemen in einem vorgesehenen Anwendungskontext erlaubt“ (Sarodnick & Brau, 2006, S. 101). Um dieses Ziel zu erreichen, muss das System für die Bedingungen, unter denen es eingesetzt wird, optimiert werden. Das Analysieren der Eigenschaften und Bedürfnisse der zukünftigen Nutzergruppe ist dabei ein wesentliches Prinzip: „After all, a user-centred approach to

design is meaningless without knowing who the users are!“ (Jordan, 1998a, S. 39). Durch diese Sichtweise wird der Nutzer mehr als ein Versuchsobjekt, nämlich ein zentraler Bestandteil und ein unverzichtbarer Partner im Designprozess (Peschke, 1987; vgl. auch DIN EN ISO 6385, 2004).

Als Nutzer oder Anwender werden dabei diejenigen Personen bezeichnet, die mit dem Produkt arbeiten werden (ISO 9241-11, 1999). Das beinhaltet sowohl Personen, die im Rahmen ihrer Arbeitstätigkeit die Software einsetzen, um inhaltliche Ziele zu erreichen, als auch Personen, deren Arbeitsaufgabe die Wartung und Anpassung der Software beinhaltet (vgl. auch Nielsen, 1993).

Unterschiedliche Formen der Partizipation lassen sich z. B. durch den Grad der Direktheit unterscheiden: Bei einer direkten Beteiligung können alle Personen ihre Wünsche ins Team einbringen, während bei einer indirekten Beteiligung Interessensvertreter repräsentativ für die gesamten zukünftigen Anwender agieren. Eine ähnliche Unterscheidung beschreibt Eason (1995) mit „generic“ (Beteiligung vor allem in Form von Probandenversuchen sowie Einflussnahme auf die Anforderungsdefinition), „bespoke“ (direkter Einfluss auf den Designprozess, z. B. bei Experten-Software) und „customizable“ (Veränderung des Designs und Anpassung an eigene Vorlieben und Bedürfnisse möglich). Ortlieb und Holz auf der Heide (1993) unterscheiden in ähnlicher Weise zwischen passiver Mitwirkung (Meinungen der Anwender werden vom Projektteam erhoben und nach eigenem Ermessen eingesetzt), aktiver Mitentscheidung (Entscheidungen werden gemeinsam getroffen) und aktiver Partizipation (Anwender dürfen selbst gestalten). Druin (2002) nennt mit User, Tester, Informant und Design Partner vier Level bzw. Rollen des Anwenders im Designprozess. Heilmann (1981) sieht Partizipationsmöglichkeiten von reiner Information der Anwender über passives Mitwirken (punktuelle Beteiligung, nur Ausschnitte), aktive Mitentscheidung (kontinuierliche Mitarbeit, Beteiligung bei Entscheidungen, Einsicht in Zusammenhänge, Veto-Recht), aktive repräsentative oder basisdemokratische Partizipation (Mitgestaltung und Mitentscheidung) bis hin zum autonomen Design (selbst gestalten, völlig autonome Entscheidungen).

Geis und Hartwig (1998) führen auf der Basis einer Studie von System Concepts Ltd. 60 % der Nutzungsprobleme auf eine mangelnde Passung von Schnittstelle und Aufgabe bzw. Aufgabenangemessenheit zurück (vgl. auch Johnson, 1996). Die Integration der Nutzer hat daher eine hohe Bedeutung für den Entwicklungsprozess und kann zu einem höheren Erfolg der Software führen (Keil & Carmel, 1995). Insbesondere bei hoch spezialisierten Aufgaben (vgl. König et al., 2012) sind Entwickler nicht in der Lage, innerhalb der Projektlaufzeit eine ausreichende Expertise zu erwerben, um Anforderungen an das HMI zu definieren und Prototypen in einem realen Kontext sachgemäß zu verwenden. Häufig werden informelle Prozesse vernachlässigt, da sie nicht dokumentiert sind (Brödner, Hamburg & Kirli, 1997). Eine Integration von Anwendern ist daher unbedingt notwendig,

um Nutzungsprobleme in einem realen Kontext zu erheben (DIN EN ISO 9241-210) und die Qualität der Gestaltungslösungen fundiert und unter realistischen Nutzungsbedingungen zu bewerten. Partizipation hilft dem Entwicklungsteam somit, die Denkweise und Bedürfnisse der Anwender besser zu verstehen, geeignete Anforderungen zu erstellen (Hall, 2001; König et al., 2012) und die Auswirkungen auf die Arbeitsprozesse abzuschätzen. Dies ist insbesondere bei der Gestaltung von Anwendungen für eine große Anzahl von Arbeitsplätzen relevant, da die positiven oder negativen Auswirkungen eine große Nutzergruppe betreffen (Dahm, 2006).

Eine intensive Partizipation der Anwender erhöht außerdem die Wahrscheinlichkeit, dass das entwickelte Produkt die Akzeptanz der Nutzer genießt, indem Anwender ihren eigenen Einfluss wahrnehmen, eigene Präferenzen einbringen und als Experte für ihre Tätigkeit angesprochen werden (Peschke, 1987; Burmester & Görner, 2003; Jackson, 1980; Dahm, 2006). Ausgehend vom Leitprinzip der eigenen Entwicklungswege bei der Gestaltung von Arbeitstätigkeiten stellt Volpert (1990) einen Bedarf an partizipativem Vorgehen fest, um Aspekte wie Sinnhaftigkeit der Arbeitstätigkeit oder gesellschaftliche Eingebundenheit zu realisieren (vgl. auch Kap. 2.3).

Tabelle 1 stellt die wesentlichen Vorteile von Partizipation zusammen.

Tabelle 1: Vorteile von Partizipation

	Vorteil	Quelle
Qualität	Entwicklung innovativerer Lösungen	Rauterberg (1994) Nielsen (1993)
	Sicherheit bei Lösungsfindung	Gieth et al. (1996)
	Je stärker die Integration der Nutzer, desto erfolgreicher ist die Software bzw. das Produkt	Keil & Carmel (1995) Brödner et al. (1997)
	Berücksichtigung von sonst unbeachteten Aspekten	Nielsen (1993)
Aufgaben- angemessenheit	Fachwissen der Nutzer fließt mit ein	Rauterberg (1994) Kujala (2003) Nielsen (1993)
	Höhere Aufgabenangemessenheit	Specker (2001) Kujala (2003)
	Validität der Anforderungen	Gieth et al. (1996)
	Höhere Produktivität	Gieth et al. (1996)
	Entwickler bekommen besseren Einblick in die Aufgaben der Nutzer	Shneiderman & Plaisant (2005) Kujala 2003)
	Hersteller erhält bessere Einsicht in die Arbeitsaufgaben	Gieth et al. (1996)
Identifikation und Motivation	Leichtere Identifikation der Beteiligten mit der gemeinsamen Lösung	Rauterberg (1994)
	Höhere Motivation, Identifikation und Einsicht	Rauterberg (1994)
	Höhere Motivation für Systemnutzung	Gieth et al. (1996) Peschke (1987)
	Höhere Akzeptanz des Systems	Damodaran (1996) Shneiderman & Plaisant (2005) Dahm (2006) Jackson (1980)
Kommunikation	Feedback an die Entwickler	Rauterberg (1994)
Qualifikation	Nutzer entwickelt besseres Verständnis der Technologien und Möglichkeiten	Gieth et al. (1996) Brödner et al. (1997)
	Nutzer erweitert seine Qualifikation	Gieth et al. (1996)
Kosten	Geringere Kosten durch Korrekturen	Rauterberg (1994)
	Geringere Kosten durch nachträgliche Korrekturen und minimierter Wartungsaufwand	Gieth et al. (1996)

Die frühzeitige und kontinuierliche Einbindung von Nutzern und das aktive Mitentscheiden von betrieblichen Interessensvertretern hat somit Vorteile für alle Beteiligten und unterstützt u. a. eine „Humanisierung der Arbeitsbedingungen“ (Gieth et al., 1996, S. 149). „Mit evolutionären und partizipativen Ansätzen ist es möglich, Qualitätssicherungsmaßnahmen über die Installation und über das Ende des Werkvertrages hinauszuführen.“ (S. 150).

Haben die Entwickler jedoch einen großen Informationsvorsprung bzw. sind die Nutzer nicht in der Lage, ihre Interessen angemessen zu vertreten, die Eignung des Produkts abzuschätzen oder die Qualität zu bewerten, kann eine Zusammenarbeit schwierig sein (Kujala, 2003). Nutzer fokussieren früher auf Detaillösungen (Wickens & Colcombe, 2007) und entscheiden bei großer Unsicherheit mitunter konservativ, so dass innovative Lösungen eher abgelehnt werden. Möglicherweise werden auch ungeeignete Designs von Nutzern durchgesetzt oder sinnvolle Vorschläge abgelehnt bzw. wäre eine Gestaltung ohne Nutzer qualitativ höher (z. B. Ives & Olson, 1984). Wird die Mitarbeit bei der Entwicklung von den Anwendern als Doppelbelastung zusätzlich zu ihrer normalen Arbeit empfunden, kann daraus geringe Motivation und minimales Engagement bis hin zur Fluktation entstehen (Gieth et al., 1996). Geringe Motivation ist auch wahrscheinlich bei erwarteten negativen Auswirkungen (z. B. schlechtere Arbeitsbedingungen oder einen Wegfall von Arbeitsplätzen aufgrund der technischen Veränderung, unangemessener Arbeitsatmosphäre im Projektteam (z. B. langwierigen Diskussionen, mangelndem Einfluss der Anwender im Team aufgrund starker Hierarchiegefälle; Gieth et al., 1996) oder so genannter „Pseudopartizipationen“ (Sarodnick & Brau, 2006, S. 102), bei denen Entscheidungen schon vorher vom Management oder Entwicklungsteam gefällt werden und der Nutzer nur noch pro forma eingeladen wird. Schließt die Partizipation nur einen Teil der zukünftigen Nutzer ein, kann bei den restlichen eine negative Einstellung gegenüber dem Produkt entstehen, da sie sich ausgeschlossen fühlen (Shneiderman & Plaisant, 2005). Durch Partizipation kann ein teilweise erheblicher zusätzlicher Ressourcenaufwand entstehen (Kujala, 2003), insbesondere wenn Entwicklungsteam und Arbeitsplatz räumlich getrennt oder die Anwendergruppe groß oder divers ist (Sarodnick & Brau, 2006), so dass Entwicklungskosten und -dauer steigen (Shneiderman & Plaisant, 2005). Software im Arbeitskontext wird außerdem nicht immer vom Anwender selbst ausgewählt, sondern von Kollegen, der IT-Abteilung oder den Vorgesetzten, so dass eine gute Bewertung eines Produkts durch Anwender sowie eine geäußerte Kaufintention nicht immer aussagekräftig für den späteren Erfolg eines HMI sind.

Die Partizipation zukünftiger Anwender ist daher ambivalent: Zwar sind die Entwickler nicht in der Lage, die Bedürfnisse der Anwender vorherzusagen und alle wesentlichen Anforderungen zu bestimmen. Allerdings kann die Anforderungsdefinition und Gestaltung auch nicht vollständig den Anwendern überlassen werden, da sie die technischen Gestaltungsmöglichkeiten und die Auswirkungen von

Veränderungen nicht ausreichend abschätzen können, wodurch nach Brödner et al. (1997) ein „Verhältnis von wechselseitiger symmetrischer Ignoranz“ (S. 3) entstehe (vgl. auch Sarodnick & Brau, 2006). Wottawa und Thierau (2003) diskutieren die Möglichkeit, diejenigen Personen zur Bewertung eines Produkts oder Prozesses einzubeziehen, die auch davon betroffen sind, entweder vollständig oder durch eine repräsentativ zusammengesetzte Stichprobe. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass Nutzern mitunter die Sachkenntnis und die Fähigkeit fehlen, die Folgen ihrer Entscheidungen abzuschätzen und neben ihren eigenen Interessen auch die der weiteren Nutzer zu berücksichtigen (Ortlieb & Holz auf der Heide, 1993). Daher muss sorgfältig analysiert werden, in welcher Form eine Entscheidungsfindung durch die Betroffenen sinnvoll ist.

Eine Metaanalyse von Kujala (2003) zeigte, dass die Partizipation in der Systemgestaltung im Allgemeinen zu höherer Nutzerzufriedenheit, höherer Passung des Produkts zu den Nutzerbedürfnissen und höherer Gebrauchstauglichkeit führt. Die Produktentwicklung selbst wurde teilweise verbessert, teilweise verschlechtert, möglicherweise abhängig von der jeweiligen Umsetzung der Partizipation. Voraussetzung für eine erfolgreiche Partizipation sind der Wille zur aktiven Beteiligung, fachliche, innovatorische und soziale Kompetenzen, um eigene Ideen und Anforderungen einzubringen (Sarodnick & Brau, 2006). Daher muss im Vorfeld abgeklärt werden, ob Partizipation im konkreten Fall sinnvoll ist, wer unter welchen Bedingungen und auf welchem Level beteiligt werden sollte und ob Abwehrhaltungen vorhanden sind (Ortlieb & Holz auf der Heide, 1993; Shneiderman & Plaisant, 2005).

Partizipative Ansätze werden unter unterschiedlichem Namen seit den 1980er Jahren verstärkt vertreten (z. B. Jackson, 1980; Hall, 2001). Beispiele sind das Partizipative Design (Participatory Design), Usability Engineering und User Centred Design.

Partizipatives Design

Partizipatives Design (Participatory Design) bindet Nutzer in das Entwicklungsteam ein (Hall, 2001). Im Gegensatz dazu werden beim User Testing Nutzer zwar in der Evaluation eingesetzt, dürfen jedoch nicht mitgestalten.

Usability Engineering

Usability Engineering bezeichnet nach Sarodnick und Brau (2006) ein Vorgehen, bei dem durch Iterationen ein Produkt entwickelt werden soll, welches eine hohe Gebrauchstauglichkeit (Usability) aufweist. Dabei werde „nicht nur eine grafische Oberfläche entwickelt, die einfach über das System 'gestülpt' wird. Vielmehr bestimmen die Ergebnisse und Erkenntnisse schon die Funktionalität maßgeblich mit“ (S. 97-98). Dies wird erreicht, indem parallel zu Analyse und Design Prototypen erstellt und evaluiert werden, bis die Umsetzung oder Implementierung des Produkts (z. B. einer

Website) erfolgt (Manhartsberger & Musil, 2001). Ein Vorgehensmodell des Usability Engineering von Sarodnick und Brau (2006) beinhaltet die vier Phasen Analyse, Konzept, Entwicklung und Einführung unter zusätzlicher Berücksichtigung der Projektplanung und -management. Evaluationen sind ebenfalls vorgesehen, jedoch nicht als eigene Phase, sondern als Aktivitäten der jeweiligen Phasen. Überlappungen der Phasen sowie Iterationen sind vorgesehen, um den starken Abhängigkeiten der einzelnen Tätigkeiten gerecht zu werden. Der Usability Engineering Lifecycle (Mayhew, 1999) beschreibt ebenfalls ein iteratives Vorgehen sowie Ziele und wesentliche Ergebnisse der einzelnen Schritte. Die zu Beginn in der Anforderungsanalyse definierten Anforderungen werden als Usabilityziele in einem Styleguide festgehalten und in drei Iterationen bzw. Leveln bis zur Umsetzung entwickelt.

Relevante Aspekte des Usability Engineering sind Iteration, Interdisziplinarität sowie die Integration zukünftiger Nutzer (z. B. Mayhew, 1999). Die wesentliche Aufgabe ist das Übersetzen von Bedürfnissen und Anforderungen in gebrauchstaugliche User Interfaces (Mammel & Reiterer, 2008). Dabei erfolgt ein kontinuierlicher Wechsel „zwischen abstrakten Beschreibungen und Designvisionen“ (S. 3), d. h. eine Transkription von Problemen zu Lösungen und umgekehrt, so dass ein Konzept in unterschiedlichen Abstraktionsleveln bearbeitet wird. Begründet wird das Vorgehen durch eine verbesserte Erfolgssicherheit, Zeit- und Kostenersparnis, einen gesteigerten Umsatz, der Entwicklung neuer Ideen sowie Stressreduktion und Spaß beim Umgang mit dem Produkt (Kalbach, 2003).

User Centred Design (User-Centred Approach)

Stärker am zukünftigen Anwender orientiert ist das Prinzip des User Centred Designs (UCD). Ziel ist ein umfassendes Verständnis der Nutzerbedürfnisse und Aufgaben schon früh im Projektverlauf, d. h. „before any line of code is written“ (Mammel et al., 2007, S. 176). Der Nutzer wird in die Entwicklung mit eingebunden, wobei der Grad der Partizipation nicht festgelegt ist. Nebe, Grötzbach und Hartwig (2006) weist darauf hin, dass eine Integration in den gesamten Produktentwicklungsprozess nicht immer einfach sei, und schlägt daher eine klare Definition von Rollen und Aktivitäten vor. Speziell mit Usability-Kriterien und -Methoden im iterativen Gestaltungsprozess für Consumer-Produkte beschäftigt sich auch van Kuijk (z. B. Van Kuijk, Preijde, Toet & Kanis, 2009; Van Kuijk, Christiaans, Kanis & van Eijk, 2007; Van Kuijk, 2010).

Umsetzungen

Eine Umsetzung partizipativer Entwicklungsprozesse stellen beispielsweise Floyd, Krabbel, Ratuski und Wetzel (1997) mit STEPS (Softwaretechnik für Evolutionäre Partizipative Systementwicklung) vor. Das Vorgehen beinhaltet Methoden für Anforderungsermittlung, Schnittstellengestaltung und

Softwareentwurf, erfolgt prozess- und menschenzentriert und unterstützt Kommunikations- und Lernprozesse. In jedem Entwicklungszyklus wird eine Systemversion erstellt und getestet. Gieth et al. (1996) nennen mit TASK („Technik der aufgaben- und benutzerangemessenen Software-Konstruktion“) eine weitere Umsetzung mit regelmäßige Reviews. Der Schwerpunkt liegt jedoch auf den frühen Entwicklungsphasen, da diese die höchste Bedeutung für Benutzer und Systementwicklung hätten. Zimmermann und Grötzbach (2007) schlagen ein User Centered Requirement Framework vor, welches UCD und Software-Engineering-Prozesse integriert, so dass die Ergebnisse eines Prozesses im jeweils anderen nutzbar werden und eine bessere Planbarkeit und Handhabbarkeit des User Centred Design resultieren. Basis des Frameworks sind die drei ersten Phasen der DIN EN 13407 (2000), für die jeweils die Reflektion und Integration der Ergebnisse beschrieben werden. Es werden drei Ausgangspunkte fokussiert, um die Anforderungen im UCD präziser und insbesondere ihre hierarchische Anordnung nachvollziehbarer zu machen. Die Handhabbarkeit und Verankerung der ergonomischen Qualität von Produkten im Designprozess ist auch Ziel der Initiative EQUID (Ergonomics Quality In Design) der IEA (Bruder, 2011). Um dies zu erreichen, werden u. a. Anforderungen an den Entwicklungs-Prozess ergonomischer Produkte definiert und in einem Referenzdokument basierend auf ISO 9001 festgehalten.

2.2.7 Erlebensfokussierte Modelle

Eine weitere Gruppe von Modellen stellt in besonderem Maße das reale Erleben der Beteiligten in den Mittelpunkt. So fordert Norman (2005) im so genannten Activity Centred Design die stärkere Berücksichtigung der Tätigkeit (Activity) bei Entwicklung von Produkten. Lowgren und Stolterman (2004) nennen als Ziel eines „Thoughtful Interaction Design“ sowohl hohe Usability als auch Ästhetik.

Der Ansatz des Design Thinking wird ebenfalls häufig mit einem besonderen Schwerpunkt auf das Erleben verbunden (vgl. z. B. Krüger, 2011). Der Begriff „Design Thinking“ fasst dabei zwei Ansätze zusammen: Aus dem Bereich der Designtheorie wird versucht, einen Ansatz zum Problemlösen für Designer zu formulieren und die Ableitung eines konkreten Untersuchungsgegenstands aus einem bestehenden Problem bzw. der vorliegenden Situation abzuleiten (Buchanan, 1995). Im Mittelpunkt steht u. a. die besondere Fertigkeit eines Designers, durch Modellierung, Musterbildung und Synthese neue Produkte zu konzipieren und zu realisieren (Cross, 2006). Dies spielt eine wesentliche Rolle, wenn es sich bei der Aufgabe um so genannte „wicked problems“ oder „ill-defined problems“ handelt (Rittel & Webber, 1973, S. 160), welche sich schlecht für die Ableitung von Anforderungen und Entwicklung einer optimalen Lösung eignen (Lockwood, 2009). Eine weitere wesentliche Rolle spielt die (geeignete) Kommunikation von Lösungsansätzen und Produkt-

attributen. Design Thinking wird jedoch auch als Vorgehensprinzip zur Entwicklung von Produkten gesehen, welches Denkweise und Methodik aus dem Design in die Produktentwicklung und auch in andere Disziplinen überträgt (Lockwood, 2009; IDEO, 2011; d.school, 2011). Auf diese Weise soll die Projektorganisation unterstützt, die Entwicklung beschleunigt (Owen, 1998) und ein höherer Innovationsgrad (Fraser, 2009) erreicht werden. Der Ansatz beruht auf einem umfassenden Verständnis von Nutzer und Nutzungskontext und beabsichtigt die Unterstützung des visuellen Denkens sowie das Generieren und die Kommunikation von Ideen (Lockwood, 2009). Brown (2008) nennt als wesentliche Prinzipien des Design Thinking Empathie, Integratives Denken, Experimentierfreude, Optimismus und Multidisziplinarität.

Das Vorgehen im Design Thinking folgt jedoch keinem einheitlichen Prinzip. Zum Teil wird die Denkweise in den Mittelpunkt gestellt und auf klare, voneinander unterscheidbare Schritte mit zugeordneten Methoden verzichtet (z. B. Lockwood, 2009; Fraser, 2009). Andere Vertreter formulieren konkrete Vorgehensschritte, wie beispielsweise das Verstehen von Aufgabestellung und Problem, Beobachten bzw. Übernahme der Anwenderrolle, gemeinsames Definieren der Standpunkte, Finden und Auswählen geeigneter Ideen, Entwickeln und Erproben von Prototypen (Plattner, Meinel & Leifer, 2009), oder beschreiben Methoden für einzelne Phasen (z. B. d-school, 2011). Das iterative Vorgehen und die Nutzerfokussierung sind an vielen Stellen mit dem menschenzentrierten Ansatz nach DIN EN ISO 9241-210 vergleichbar (Krüger, 2011). Eine Analyse des Design Thinking-Ansatzes sowie einen Vergleich mit weiteren Vorgehensmodellen behandelt z. B. Krüger (2011).

2.2.8 Menschzentrierter Gestaltungsprozess nach DIN EN ISO 9241-210

Einen weiteren Ansatz zur Entwicklung von HMI beschreibt DIN EN ISO 9241-210 (2011).

„Menschzentrierte Gestaltung ist ein Ansatz zur Entwicklung interaktiver Systeme, der darauf abzielt, Systeme gebrauchstauglich und zweckdienlich zu machen, indem er sich auf die Benutzer, deren Erfordernisse und Anforderungen konzentriert sowie Kenntnisse und Techniken der Arbeitswissenschaft/Ergonomie auf dem Gebiet der Gebrauchstauglichkeit anwendet.“ (DIN EN ISO 9241-210, 2011, S. 4)

In einem mehrstufigen iterativen Usability Engineering Prozess wird ein Konzept kontinuierlich oder stufenweise verbessert bis zur Zielerreichung. Das Vorgehen beinhaltet sowohl Aspekte der iterativen Vorgehensmodelle als auch Partizipation und integriert damit Elemente aus verschiedenen Vorgehensmodellen.

Ziele

Ziel des iterativen, menschenzentrierten Gestaltungsprozesses ist die Entwicklung eines gebrauchstauglichen interaktiven Systems und somit positive Auswirkungen für Produktivität und Anwender. Dementsprechend werden als Ziele des Entwicklungsprozesses Effektivität, Effizienz, Zugänglichkeit, Nachhaltigkeit, menschliches Wohlbefinden, Zufriedenstellung, Vermeidung nachteiliger Auswirkungen auf Gesundheit, Sicherheit und Leistung aufgelistet (DIN EN ISO 9241-210, S. 4).

Der beschriebene Prozess ist jedoch bewusst nicht „nutzer-“ oder „benutzer-zentriert“, sondern „menschenzentriert“ (DIN EN ISO 9241-210, S. 6), um neben den Nutzern weitere beteiligte Einzelpersonen oder Organisationen zu berücksichtigen, welche als Stakeholder „ein Anrecht, einen Anteil, einen Anspruch oder ein Interesse auf ein bzw. an einem System oder an dessen Merkmalen haben, die ihren Erfordernissen und Erwartungen entsprechen“ (ISO/IEC 15288, 2008, zitiert nach DIN EN ISO 9241-210, S. 7). Zielgruppe der Norm sind neben Entwicklern bzw. Experten aus dem Bereich Ergonomie und Usability alle, die „für das Management der Prozesse zur Gestaltung und Neugestaltung von Hardware und Software verantwortlich sind“ (S. 4), so dass vor allem versucht wird, das Verständnis für die Bedeutung menschenzentrierten Vorgehens zu wecken und die notwendigen arbeitswissenschaftlichen Hintergründe zu vermitteln.

Der Nutzen des menschenzentrierten Vorgehens wird vor allem mit technischen und kommerziellen Vorteilen begründet, da Käufer unter Umständen bereit seien, für gute Gestaltung bzw. gebrauchstaugliche Produkte mehr zu zahlen und außerdem die Kosten für die Kundenbetreuung und -beratung geringer seien (DIN EN ISO 9241-210, S. 8). Zusätzlicher Nutzen ergibt sich u. a. durch eine bessere Zugänglichkeit der Produkte bzw. die Eignung für eine größere Zahl und Bandbreite von Nutzern. Menschenzentriert entwickelte Produkte sollen dem Benutzer weniger Stress und Unbehagen bereiten, das Wohlbefinden steigern, das Risiko psychischer und physischer Belastung und Beanspruchung verringern und eine positivere User Experience ermöglichen. Das Vorgehen verringert bekannte Projektrisiken wie das Überziehen von Terminen und Budget, das Nichterfüllen von Anforderungen und die Ablehnung des Produkts durch den Nutzer. Kosten und Nutzen werden dabei über den gesamten Lebenszyklus des Produkts betrachtet, nicht nur in der Entwicklungsphase. Für die Vorgängernorm EN ISO 13407 stellten u. a. Zimmermann und Grötzbach (2007) fest, dass die Einbeziehung der Nutzer bedeutende wirtschaftliche und soziale Vorteile habe, da sie zu Systemen führe, die einfacher zu verstehen und zu benutzen sind und somit hohe Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit erreichten. Sie ergänze etablierte Softwareentwicklungsprozesse und füge eine menschenzentrierte Perspektive hinzu.

Einordnung der Norm

Die DIN EN ISO 9241-210 ist Teil einer Normenreihe aus dem Anwendungsbereich SC 4. Diese Normenreihe 9241 hat die „Ergonomie der Mensch-System-Interaktion“ zum Thema, der Teil 200 beschäftigt sich mit den Prozessen der Mensch-System-Interaktion. Ursprünglich für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten entwickelt, hat sich der Anwendungsbereich mit der Zeit auf allgemeine Interaktionen zwischen Mensch und (technischem) System erweitert. Da Normen keine Gesetze im eigentlichen Sinne sind (Gieth et al., 1996), hat die Nichteinhaltung zunächst keine juristischen Folgen (Laurig, 1990). Jedoch sind Normen „das einvernehmlich beschlossene Ergebnis der organisierten Zusammenarbeit der interessierten Verbände“ (Gieth et al., 1996, S. 23) und gelten somit als allgemein anerkannte Leitlinien, deren Einhaltung empfohlen wird. Die Art und Weise der Umsetzung bzw. die Umsetzbarkeit hängt jedoch stark von den vorliegenden Bedingungen ab. Für Nutzungskontexte wie der Flugsicherung sind die vorhandenen Normen nicht spezifisch genug, so dass mitunter abgewogen werden muss, welche Norm wie weit anzuwenden ist und an welchen Stellen Abweichungen von den Leitlinien sinnvoll sind. Normen legen außerdem keine konkreten Produkteigenschaften fest, sondern geben lediglich einen Rahmen vor (Gieth et al., 1996), welcher für die Umsetzung durch Verordnungen (z. B. Bildschirmarbeitsverordnung) ergänzt wird. Insbesondere die DIN EN ISO 9241-210 sieht ihre Rolle eher in der Vermittlung einer menschenzentrierten Perspektive, die an die unterschiedlichen Vorgehensweisen und Kontexte flexibel angepasst werden kann, statt in der Beschreibung möglicher Methoden und Anforderungen.

Grundsätze der menschenzentrierten Gestaltung

Die Norm formuliert vier Grundsätze, welche bei einer menschenzentrierten Gestaltung berücksichtigt werden sollten.

Der erste Grundsatz beinhaltet das **Einbeziehen von Anwendern bzw. relevanten Stakeholdern** in den Entwicklungs- und Gestaltungsprozess (DIN EN ISO 9241-210, S. 9). Die Gestaltung sollte sich auf ein umfassendes Verständnis der zukünftigen Benutzer, ihrer Arbeitsaufgaben und der Arbeitsumgebung stützen.

Der Entwicklungsprozess soll nicht linear, sondern **zyklisch** verlaufen (zweiter Grundsatz). Gestaltungslösungen werden iterativ entwickelt und dabei kontinuierlich verfeinert und angepasst. Gleiches gilt für die Anforderungen (Spezifikationen), die zu Beginn des Prozesses nicht vollständig bekannt sind, sondern Schritt für Schritt im Entwicklungsprozess detailliert und ggf. verändert werden. Je präziser und konkreter das Produkt wird, desto detaillierter werden die Anforderungen (Zimmermann & Grötzbach, 2007). Als Iteration wird dabei ein Vorgehen bezeichnet, bei dem eine Folge von Schritten wiederholt wird, bis anfängliche Unsicherheiten beseitigt, das gewünschte

Ergebnis erreicht und insbesondere bei komplexen Systemen ein umfassendes Verständnis aufgebaut wurde (vgl. DIN EN ISO 9241-210).

Bei der Entwicklung soll **Fachwissen aus unterschiedlichen Disziplinen** berücksichtigt werden (dritter Grundsatz), abhängig von Thema und Projektzeitpunkt (DIN EN ISO 9241-210). Die Multidisziplinarität soll eine größere Wissensbasis und eine höhere Kreativität und Ideenmenge bewirken, die jeweiligen Einschränkungen der einzelnen Fachgebiete kompensieren und eine größere Sensibilität für die Interessen und Bedürfnisse von anderen Menschen schaffen.

Der vierte Grundsatz fordert den Einbezug der gesamten **User Experience**. Diese beinhaltet „Wahrnehmungen und Reaktionen einer Person, die aus der tatsächlichen und/oder der erwarteten Benutzung eines Produkts, eines Systems oder einer Dienstleistung resultieren“ (DIN EN ISO 9241-210, S. 7). Sie ist zum Teil Folge der bisherigen Erfahrungen, Einstellungen, Fähigkeiten, Gewohnheiten und des Charakters des Benutzers und umfasst auch Prozesse vor und nach der Nutzung.

Im Vergleich zu DIN EN ISO 13407 (2000) detailliert und betont DIN EN ISO 9241-210 den Grundsatz der Menschzentrierung und nennt mögliche Gestaltungsaktivitäten. Die Bedeutung der Iteration einzelner Phasen sowie des gesamten Kreislaufs werden stärker hervorgehoben. Die zeitliche Dimension wird ausgeweitet, die menschenzentrierte Entwicklung kann demnach über den gesamten Produktlebenszyklus angewendet werden, die Nachhaltigkeit wird zum ersten Mal thematisiert (zu Sustainability von HMI vgl. auch DiSalvo, Sengers & Brynjarsdottir, 2010).

Aktivitäten

Das in DIN EN ISO 9241-210 vorgeschlagene Vorgehen umfasst vier Aktivitäten, die iterativ mehrmals durchlaufen und durch eine Planung des Vorgehens sowie einen Abschluss eingerahmt werden (Abbildung 4). Der Übergang von einer Aktivität zur nächsten erfolgt, sobald die Ziele der aktuellen Aktivität erreicht sind. Überschneidungen und parallele Bearbeitung sind jedoch möglich. Nachfolgend werden die einzelnen Aktivitäten kurz erläutert.

Als erste Aktivität werden die Bedingungen analysiert, unter denen das Produkt eingesetzt werden soll, d. h. es erfolgt das **Verstehen und Festlegen des Nutzungskontexts**. DIN EN ISO 9241-11 definiert diesen als „Benutzer, Arbeitsaufgaben, Arbeitsmittel (Hardware, Software und Materialien) sowie die physische und soziale Umgebung, in der das Produkt genutzt wird“ (S. 4). Nach DIN EN ISO 9241-210 gehören dazu die Nutzergruppe mit ihren spezifischen Eigenschaften, ihren Aufgaben und Zielen sowie die Umgebungsbedingungen. Letztere beinhalten beispielsweise die technische (Hard- und Software), physikalische (Thermik, Beleuchtung, Raumgestaltung, ...) und soziale (Arbeitsweisen, Organisationsstruktur, Einstellungen) Umgebung. Bei der erstmaligen Erhebung genügt eine grobe Skizzierung, die dann im Projektverlauf immer weiter überarbeitet, ergänzt und

detailliert wird. Dazu können z. B. die Arbeitsplätze besichtigt, bestehende ähnliche Systeme analysiert, Benutzer befragt und beobachtet oder Fehlermeldungen bzw. Mängelberichte ausgewertet werden. Fehlende oder fehlerhafte Informationen über den Nutzungskontext können dazu führen, dass dem Produkt wesentliche Funktionalitäten fehlen oder es für den vorgesehenen Zweck, die Nutzergruppe oder die Umgebungsbedingungen nicht oder schlecht geeignet ist.

In der zweiten Aktivität werden die **Nutzungsanforderungen spezifiziert** und eventuell auftretende Konflikte zwischen einzelnen Anforderungen gelöst. Die Anforderungen basieren auf den Erkenntnissen der Nutzungskontextanalyse, relevanten Normen sowie Fachwissen. Es muss festgelegt werden, was die Anwender mit der Produktnutzung erreichen möchten. Die Nutzungsanforderungen beschreiben damit in mehr oder weniger konkreter und ausformulierter Form ein überprüfbares Ziel für das Entwicklungsteam. Allerdings gilt auch hier, dass zu Beginn des Entwicklungsprozesses möglicherweise noch nicht alle Anforderungen bekannt sind bzw. sie nur vage beschrieben werden können, bis sie in folgenden Iterationen detailliert und ergänzt werden.

Die dritte Aktivität beinhaltet das **Erarbeiten von Gestaltungsentwürfen** und die Umsetzung in Prototypen unterschiedlicher Form. Die Entwürfe sollen die Anforderungen aus der vorherigen Aktivität möglichst umsetzen. Auch hier gilt, dass zum Projektbeginn eher grobe Konzepte oder Lösungen für einzelne Funktionen und Bereiche entwickelt werden, welche dann, auch mit zunehmender Präzisierung und Ergänzung des Wissens über Nutzungskontext und Anforderungen, detailliert und weiterentwickelt werden. Im Projektverlauf ergibt sich damit eine Näherung an den endgültigen Entwurf. Eine frühe Visualisierung der entwickelten Ideen und Konzepte wird empfohlen, um sie den Teamkollegen und den integrierten Anwendern zugänglich zu machen und so eine gemeinsame Entwicklung zu ermöglichen.

Die entwickelten Konzepte und Prototypen werden in der vierten Aktivität **evaluiert**. DIN EN ISO 9241-210 unterscheidet zwischen Methoden, welche die Anwender integrieren, wie z. B. Nutzertests, und Methoden, welche eine Beurteilung durch Experten vorsehen, wie z. B. durch Anwendung von Checklisten und Heuristiken. Wird bei der Evaluation festgestellt, dass die gestellten Anforderungen erfüllt sind bzw. keine neuen Anforderungen notwendig sind, kann der Entwicklungsprozess abgeschlossen werden. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass dies bei der ersten Evaluation im Allgemeinen nicht der Fall ist und mindestens eine Iteration notwendig sein wird. Auch sollen Rückmeldungen von Nutzern über einen längeren Zeitraum und nach der Einführung des Produkts erhoben werden, um die langfristigen Auswirkungen zu erkennen. Die Evaluationsphase erfordert eine Reflexion über das Vorgehen und die bisher erreichten Ergebnisse und wirkt sich damit wesentlich auf die Fortführung des Entwicklungsprozesses aus.

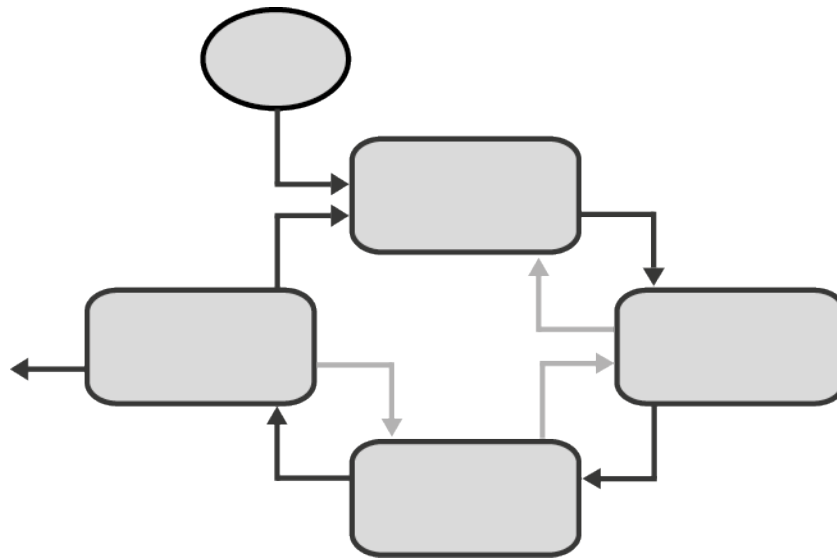


Abbildung 4: Prinzip des menschenzentrierten Gestaltungsprozesses nach DIN EN ISO 9241-210

2.2.9 Bewertung der Entwicklungsprozess-Modelle

Zur Entwicklung von HMI ist eine Vielzahl von Vorgehensmodellen verfügbar. Die meisten Vorgehensweisen beinhalten als wesentliche Schritte die Festlegung von Anforderungen, die Erstellung von Gestaltungsentwürfen sowie deren Testung. Unterschiede liegen u. a. in der zeitlichen Abfolge und Ausgestaltung der einzelnen Aktivitäten sowie im Grad der Partizipation von Anwendern. Dies führt zu spezifischen Vor- und Nachteilen jeder Vorgehensweise (Tabelle 2), welche ein sorgfältiges Abwägen bei der Auswahl eines Vorgehensmodells für ein konkretes Projekt nahelegen. Generell scheint es jedoch einen Trend zu iterativen Modellen und dem Fokus auf Nutzerbeteiligung und Multidisziplinarität zu geben.

Partizipative Ansätze haben häufig die Entwicklung eines HMI mit hoher Usability zum Ziel. Auch hier sind unterschiedliche Vorgehensmodelle verfügbar, die jedoch im Allgemeinen auf einem iterativen Vorgehen basieren und die Aktivitäten der Anforderungsdefinition, Gestaltung und Evaluation beinhalten. Unterschiede liegen u. a. in der Intensität und Ausgestaltung der einzelnen Vorgehensschritte. So kann die Festlegung von Anforderungen als eine Phase beschrieben oder in mehrere Unteraufgaben und Schritte zerlegt werden. Die Detaillierung ergibt sich zum Teil aus der zugrunde liegenden Fachdisziplin. Einige Modelle lassen scheinbar einzelne Phasen aus, wie beispielsweise die Evaluation. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass auch bei diesen Vorgehensweisen ein Abgleich von Anforderungen und Gestaltungslösung erfolgt und dieser lediglich nicht explizit genannt wird.

Abbildung 5 enthält einen Vergleich mehrerer Vorgehensmodelle bzgl. der dort beschriebenen Phasen und zeigt darin die unterschiedliche Schwerpunktsetzung. Die farbigen Balken repräsentieren die jeweiligen Aktivitäten (blau: Planung des Vorgehens; grün: Definition von Zielen, Nutzungskontext und Anforderungen; gelb: Entwickeln von Konzepten, Gestaltungslösungen und Prototypen; orange: Evaluation bzw. Bewertung der Gestaltungslösungen; rot: reale Nutzungsphase), die Anzahl der Balken pro Aktivität ergibt sich aus der Anzahl der genannten Tätigkeiten. Prinzipiell setzt sich jede Aktivität aus einer oder mehreren explizit genannten Tätigkeiten zusammen (z. B. „Entwickeln von Gestaltungslösungen“ oder „Erstellen von Prototypen“), Tätigkeiten können jedoch über zwei Aktivitäten hinweg durchgeführt werden. Alle hier vorgestellten Ansätze berücksichtigten die grundlegenden Aktivitäten. Eine Planungsphase wird jedoch nur bei zwei der Ansätze explizit vorangestellt, und die Berücksichtigung der realen Nutzungsphase bzw. der Nachhaltigkeit ist auch nur teilweise vorhanden. Das Vorgehen der DIN EN ISO 9241-210 beinhaltet als einziges der Modelle beide zusätzlichen Aktivitäten und kann daher als umfassendes Vorgehensmodell bezeichnet werden. Vergleichende Analysen unterschiedlicher Vorgehensmodelle beinhalten auch Memmel et al. (2007), Memmel und Reiterer (2008), Sarodnick und Brau (2006), Zetker (2011) und Krüger (2011).

Auch unterscheiden sich die einzelnen Ansätze darin, inwieweit sie konkrete Hilfestellung zur Ausgestaltung der Phasen geben. Während im Design Thinking zahlreiche Dokumente mit der Beschreibung von spezifischen Methoden verfügbar sind, zählt DIN EN ISO 9241-210 nur wenige Methoden auf und verweist ansonsten auf ISO/TR 16982 (2002).

Tabelle 2: Vergleich von Vorgehensmodellen

	Sequentielle Modelle	Iterative Modelle	Prototypische Modelle	Nutzerfokussierte Modelle
Alternative Bezeichnungen, Vertreter	Wasserfall-Modell Stufenmodell	Zyklisches Modell Inkrementelles Modell		Participatory / User Centered Design Nutzer-/ menschenzentrierter Gestaltungsprozess
Vertreter	Phasenmodell (Benington, 1987) Wasserfall-Modell (Royce, 1970)	Spiralmodell (Boehm, 1988) Iteratives Verbesserungsmodell (Basili & Turner, 1975)	Spiralmodell (Boehm, 1988)	DIN EN ISO 9241-210 Scenario-based usability engineering (Rosson & Carroll, 2002) Usability Engineering Lifecycle (Mayhew, 1999) Prozessmodell „Usability Engineering“ (Sarodnick & Brau, 2006)
Eigenschaften	Sequentiell, mehrere Schritte Übergang nach Abschluss einer Phase Ergebnisse je Phase = Meilensteine, werden weiter verwendet Anforderungen werden zu Beginn vollständig ermittelt, bilden Basis für den Entwurf	Entwicklung in Inkrementen Kontinuierlich oder stufenweise Fertigstellung bzw. Erweiterung z. T. mit Risikoanalyse Dynamische Reaktion auf neue Erkenntnisse Anforderungen in Teilmengen aufgeteilt und realisiert, wenig Abhängigkeiten	Phasen werden wiederholt durchgeführt aufgrund der Erfahrungen mit den Prototypen Unterschiedliche Arten von Prototypen abhängig von jeweiliger Aktivität	Iterativ Integration der zukünftigen Anwender und anderer Stakeholder in eine oder mehrere Phasen
Vorteile	Anforderungen zu Beginn verfügbar Kein umfangreiches Versionsmanagement notwendig Erfahrungen können direkt im Projekt genutzt werden	Gut wenn Anforderungen unklar, instabil oder bei geringen Erfahrungen Korrekturen bzw. Veränderungen jederzeit möglich Sanfter Umstieg für zukünftige Nutzer Geringes Risiko für Fehlentwicklungen Bei Zeitdruck Teillauslieferung möglich	Anforderungen werden vollständig ermittelt und erfüllt Kein Versionsmanagement notwendig, da wenig Versionen Gut bei unklaren Anforderungen Reduziertes Risiko einer Fehlentwicklung	Höhere Akzeptanz durch Anwender durch Partizipation Gut wenn Anforderungen unklar, instabil oder bei geringen Erfahrungen Korrekturen jederzeit möglich Sanfter Umstieg für zukünftige Nutzer Geringes Risiko für Fehlentwicklungen
Nachteile	Ungeeignet bei variierenden Anforderungen Viel Erfahrung notwendig Erst spät sichtbares Ergebnis, Funktionen nicht reduzierbar	Umfangreiches Versions- und Konfigurationsmanagement notwendig Zusammenfügen der einzelnen Elemente / Inkremente evtl. schwierig	Aufwand / Kosten für Umsetzung der Prototypen Prototyp wird zu schnell als Endsystem betrachtet (v. a. vom Anwender)	Umfangreiches Versions- und Konfigurationsmanagement notwendig Erfolg u. a. abhängig von Kompetenz, Motivation und verfügbaren Ressourcen der Anwender

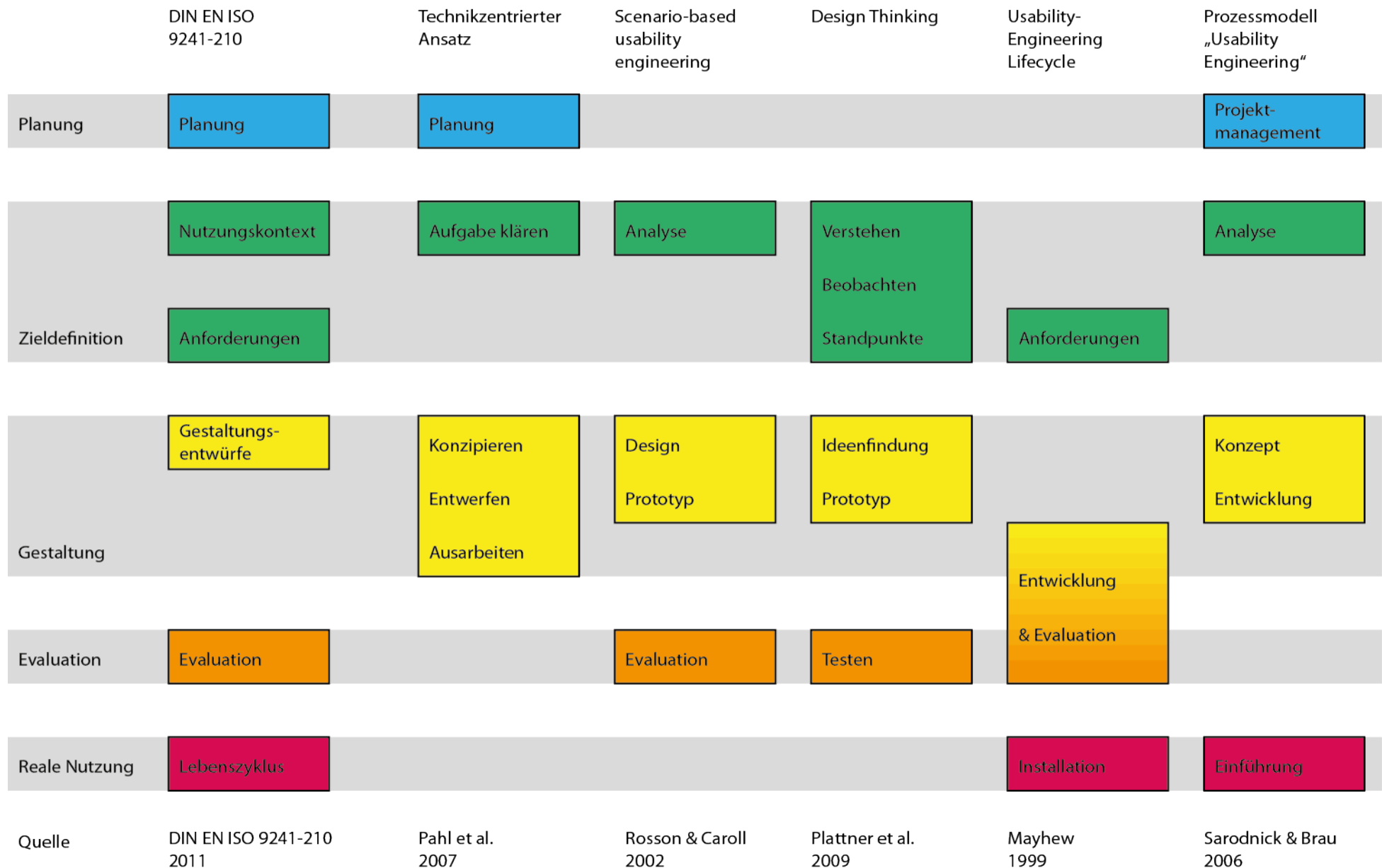


Abbildung 5: Vergleich von nutzerfokussierten Vorgehensmodellen

2.3 Arbeitskontext

Bei der Flugsicherung handelt es sich um einen Arbeitskontext. Die dafür gestalteten HMI werden im Rahmen der Arbeitstätigkeit eingesetzt und müssen entsprechende Anforderungen erfüllen. Welche das sind, und inwieweit sich ein arbeitsbezogener von anderen Nutzungskontexten unterscheidet, ist hier eine wesentliche Frage.

2.3.1 Arbeit

Als „Arbeit“ bezeichnet Hellpach (1912, zitiert nach Bokranz & Landau, 1991, S. 15) „jede fortgesetzte, angespannte und geordnete Tätigkeit, die der Erzeugung, Beschaffung, Umwandlung, Verteilung oder Benutzung von materiellen und ideellen Daseinsgütern dient“. Eine neuere Definition nach Graf Hoyos (1974) präzisiert Arbeit als

„eine Aktivität oder Tätigkeit, die im Rahmen bestimmter Aufgaben entfaltet wird und zu einem materiellen und/oder immateriellen Arbeitsergebnis führt, das in einem Normensystem bewertet werden kann; sie erfolgt durch den Einsatz der körperlichen, geistigen und seelischen Kräfte des Menschen und dient der Befriedigung seiner Bedürfnisse“ (S. 24).

Hacker (2005) betont außerdem die Bedeutung der inneren Modelle des Menschen sowie die Bedeutung der Informationsaufnahme. Aktivitäten, die zur Zielerreichung erforderlich sind, werden als Arbeitsaufgabe bezeichnet (DIN EN ISO 9241-11). Der Unterschied zu Freizeitaktivitäten liegt in der Relevanz der Vollzugsbedingungen (Bokranz & Landau, 1991). Die Nutzung der Arbeitsmittel wie z. B. eines Computers oder eines Telefons erfolgt aus anderen Gründen und in anderer Form als im privaten Kontext. Unterschiede liegen beispielsweise in der Nutzungsdauer, dem Trainingsgrad bzw. den Trainingsmöglichkeiten und der Motivation der Nutzer. Effektivität und Effizienz stehen stärker im Vordergrund, um eine hohe Leistung bei der Tätigkeit zu erbringen, und Bedienfehler können z. T. schwerwiegende Auswirkungen haben. Arbeitsmittel werden dem Anwender u. U. zur Verfügung gestellt, d. h. er ist nicht der Käufer und muss daher auch nicht vom Kauf überzeugt werden. Einige Arbeitsmittel sind eigens für eine bestimmte, dem Entwicklerteam bekannte und hoch spezialisierte Nutzergruppe entwickelt, so dass eine Anpassung an den spezifischen Bedarf möglich ist. Insbesondere für hoch spezialisierte Arbeitsmittel sind höhere Kosten akzeptabel als dies bei vielen Consumer-Produkten der Fall wäre. Aus diesen Gründen kann die Unterscheidung zwischen Arbeits- und privatem Kontext bei der Entwicklung von HMI eine große Rolle spielen.

2.3.2 Betrachtungsebenen

Das Arbeitsverhalten eines Menschen ist eingebettet in ein dynamisches System, z. B. eine Organisation (Hacker, 2005), ein Projektteam oder eine Kunden-Auftraggeber-Beziehung. Entsprechend kann die Betrachtung von Arbeit auf unterschiedlichen Ebenen geschehen. Bokranz und Landau (1991) unterscheiden fünf Ebenen, von den physikalischen Bedingungen bzw. organismischen Teilprozessen bis zu kooperativen Arbeitsformen. Auf jeder Ebene erfolgt eine Beurteilung der Prozesse nach spezifischen Kriterien. Eine umfassende Betrachtung einer Arbeitssituation erfordert die Berücksichtigung aller Ebenen sowie deren Zusammenhänge, dabei sind Prozesse auf niedrigeren Ebenen häufig Grundvoraussetzung für die der höheren Ebenen, wie z. B. die Ausführbarkeit als Voraussetzung für die Erträglichkeit. Eine ähnliche Aufteilung, jedoch auf sieben Stufen, nehmen Luczak, Volpert, Raeithel und Schwier vor (1989, vgl. auch Müller, 1997), beginnend mit den autonomen Körperfunktionen bzw. der Arbeitsumgebung über Operationen mit Werkzeugen, der Arbeitstätigkeit selbst, personalem Handeln, der Arbeitsgruppen und der Betriebs- bzw. Organisationsebene bis hin zur gesellschaftlichen Einbettung. Ein HMI kann somit nicht für sich betrachtet werden, da jedes interaktive technische System Teil eines Gesamtsystems ist und Auswirkungen auf unterschiedlichen Ebenen haben kann. Die Entwicklung und Gestaltung eines HMI bedeutet zudem die Gestaltung der Arbeitstätigkeit selbst inklusive aller unmittelbaren und weiter gefassten Folgen.

2.3.3 Arbeitssystem

Als System gilt ein Ensemble von mehreren Elementen, zwischen denen eine Beziehung besteht und das Teilsysteme enthalten kann (Dörner, Kreuzig, Reither & Stäudel, 1994). Die Veränderung eines Elements kann Auswirkungen auf weitere Elemente haben. Die Komplexität einer Situation bzw. eines Systems wird u. a. durch die Anzahl und Art der Elemente und ihrer Beziehung, ihre Dynamik, die Anzahl und Variabilität von Situation u. a. bestimmt (Dörner, 2003; Dörner et al., 1994).

Der Systemgedanke lässt sich auch auf die Situation einer einzelnen Arbeitsperson übertragen. Als Arbeitssystem wird dabei der Mensch an seinem Arbeitsplatz bzw. das „Zusammenwirken eines einzelnen oder mehrerer Arbeitender/Benutzer mit den Arbeitsmitteln (...), um die Funktion des Systems innerhalb des Arbeitsraumes und der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgaben vorgegebenen Bedingungen zu erfüllen“ beschrieben (DIN EN ISO 6385, 2004, S. 6). Die Situation eines Fluglotsen ist durch zahlreiche Elemente, zu berücksichtigende Informationen, Abhängigkeiten und eine hohe Dynamik bestimmt und kann daher als komplexes System bezeichnet werden (Benel & Benel, 1998). Auch die Beziehungen zwischen Menschen und technischen Systemen können mit Hilfe dieser systemischen Betrachtungsweise beschrieben werden. Diese soziotechnischen oder

Mensch-Maschine-Systeme (Human-Machine-Systems) beinhalten als Elemente mindestens ein menschliches und ein technisches Teilsystem sowie die Beziehung zwischen diesen beiden Elementen (DIN EN ISO 6385).

Häufig geht es bei der Entwicklung von HMI um die technischen Elemente (Zetker, 2011). Bei einer systemischen Betrachtungsweise wird jedoch deutlich, dass das technische Element auch vom menschlichen Element im soziotechnischen System beeinflusst wird (vgl. Blutner, Cramer & Haertel, 2009). Daraus lässt sich ableiten, dass die Gestaltung eines HMI und noch viel mehr dessen Bewertung nur möglich sind, wenn auch die menschliche Perspektive innerhalb des Systems berücksichtigt wird. Eine unabhängig vom Menschen entwickelte Lösung kann sich nicht ins System einpassen, da wesentliche Beziehungen mit großer Wahrscheinlichkeit nicht berücksichtigt wurden.

2.4 Zusammenfassung und Fazit

Aus den bisher beschriebenen Erkenntnissen lässt sich ableiten, dass die Anwendung eines geeigneten Vorgehensmodells die Qualität eines HMI, insbesondere die Gebrauchstauglichkeit, verbessern und den Entwicklungsprozess fördern kann. Bei der Anwendung eines konkreten Modells besteht jedoch die Herausforderung, das allgemein beschriebene Vorgehen auf die spezifischen Bedingungen einer Anwendung bzw. Problemstellung anzupassen. Ob und auf welche Weise dies nach einem Vorgehen nach DIN EN ISO 9241-210 für ein HMI im Bereich Flugsicherung möglich ist, wird im Folgenden dargestellt.

2.4.1 Zentrale Aspekte erfolgreicher Vorgehensmodelle zur HMI-Entwicklung

Die meisten Vorgehensmodelle zur Gestaltung von HMI unterscheiden sich nicht durch ihre Aktivitäten, sondern durch die jeweilige Schwerpunktsetzung. Es zeigt sich, dass sich viele erfolgreiche Modelle auf die gleichen zentralen Aspekte berufen. Dazu gehört neben iterativem Vorgehen Interdisziplinarität, das Verwenden von Prototypen sowie einen frühen Fokus auf Nutzer und Aufgaben (vgl. z. B. Gould & Lewis, 1985).

Nahezu alle aktuellen Vorgehensmodelle scheinen nach dem **iterativen Prinzip** vorzugehen, um frühzeitig Erkenntnisse zu erhalten und bei Bedarf korrektiv einzugreifen. Aktivitäten werden mehrfach durchgeführt, bis durch eine schrittweise Annäherung der gewünschte Zustand erreicht ist. Insbesondere bei gravierenden Veränderungen im Vergleich zu den aktuellen HMI, welche für die Nutzer einen Paradigmenwechseln bedeuten und den Erwerb neuer Verhaltensweisen und Strategien bei ihrer Tätigkeit notwendig machen (Gould, 1988), spielt dies eine Rolle (z. B. Burmester & Görner 2003). Eine Veränderung muss hier Schritt für Schritt vorgenommen werden, um die Betei-

ligten langsam mit den Neuerungen vertraut zu machen (König, Hofmann, Bergner & Bruder, 2009b).

Die **Partizipation der Anwender** kann sich zum einen positiv auf die Qualität der Software bzw. ihrer Eignung für den jeweiligen Nutzungskontext auswirken, da die Nutzer Auskunft über das Arbeitssystem, Arbeitsabläufe, Informationsbedarf sowie mentale Prozesse geben, Prototypen testen und Gestaltungslösungen entwickeln können. Zum anderen kann Partizipation die Akzeptanz des Produkts sowie der damit verbundenen Veränderungen fördern. Ein wenig funktionales und unangenehm zu bedienendes HMI kann dazu führen, dass das System nicht so gewissenhaft genutzt wird, wie es sinnvoll wäre (Gould, 1988), und dass beispielsweise Daten aus Bequemlichkeit nicht eingegeben oder Informationen nicht verwendet werden (König et al., 2009b).

Der Einsatz von **Prototypen** schon in frühen Entwicklungsstadien veranschaulicht Funktionalität und Gestaltung der HMI und ist damit eine wichtige Grundlage für die Kommunikation im Projektteam, mit Auftraggebern sowie die Partizipation von Anwendern (vgl. König et al., 2009b).

Einige Modelle heben auch hervor, dass zur Entwicklung eines gebrauchstauglichen Systems unterschiedliche fachliche Kompetenzen beitragen müssen (z. B. Seffah & Metzker, 2004), und dass die Entwicklung somit im Team vorgenommen wird. Damit verbunden ist die Kommunikation der Beteiligten über ihre jeweiligen Perspektiven, Methoden, Denk- und Vorgehensweisen sowie ein Aushandlungsprozess über die individuellen Interessen.

2.4.2 Herausforderung für das klassische Vorgehen

Ein wesentlicher Unterschied von HMI für die Flugsicherung im Gegensatz zu herkömmlicher Bürosoftware liegt beispielsweise in der hohen Sicherheitsrelevanz. Die Sicherheit hat in jedem Fall Vorrang (DFS, 2012; vgl. auch Röbig, König, Hofmann & Bruder, 2010b) und darf durch veränderte Systeme oder auch nur das Erheben von Daten nicht beeinträchtigt werden. Die Gebrauchstauglichkeit ist daher nur soweit erwünscht, wie die Sicherheit verbessert oder zumindest nicht verschlechtert wird, und wird daher unter Umständen als zweitrangig gesehen (vgl. z. B. König et al., 2009b). Daten zum Nutzungskontext oder zur Evaluation eines Gestaltungsentwurfs können daher nur in Situationen erhoben werden, in denen dies nicht störend ist. Für die Gestaltung wären jedoch besonders die kritischen Situationen interessant, wenn der Lotse seine Kapazitätsgrenze erreicht und Fehlfunktionen des Systems nicht mehr so leicht kompensieren kann. Die hohe Anforderung an die Sicherheit bewirkt außerdem, dass Entwicklungsprozesse häufig lange dauern, da auch die Zuverlässigkeit der verwendeten Technologien sichergestellt sowie die Auswirkung der Veränderungen im Gesamten berücksichtigt werden müssen. Auch dominieren im Arbeitsalltag

alltägliche Situationen. Sondersituationen, welche ebenfalls mit dem HMI gemeistert werden müssten, treten zu selten auf, um sie bei einer Evaluation über eine kurze Zeitspanne zuverlässig zu erheben, und können selbstverständlich nicht auf Kosten der Sicherheit provoziert werden. Eine weitere Herausforderung ist die Evaluation von Prototypen. In komplexen Systemen (vgl. Kapitel 3.1.3) können nicht immer alle Variablen systematisch variiert, Störgrößen kontrolliert und immer gleiche Bedingungen bereitgestellt werden. Außerdem sind viele Situationen einzigartig und nicht reproduzierbar, so dass bei jeder Evaluation andere Bedingungen herrschen und viele Methoden, welche sich auf die Untersuchung einer großen Stichprobe von Situationen oder Nutzern beziehen, nicht anwendbar sind. Die Entwicklung von HMI geht häufig einher mit einer veränderten Arbeitsaufgabe und neuen Technologien (vgl. König et al., 2010). Das Produkt wird so für eine Situation entwickelt, die noch gar nicht vorhanden ist. Damit müssen auch die Anforderungen an das zukünftig einzusetzende und zu entwickelnde System erarbeitet werden, ohne die Situation tatsächlich erfahren zu können. Anforderungen, Prozesse und Technik bedingen sich gegenseitig, indem neue Technologien zu neuen Anforderungen führen (Wickens et al., 1997) und neue Anforderungen und Prozesse eine Weiterentwicklung der bisher vorhandenen Technologien erforderlich machen (König et al., 2010). Die Analyse des Nutzungskontexts muss daher sowohl den aktuellen als auch mögliche zukünftige Zustände einschließlich organisationaler Entwicklungen berücksichtigen.

2.4.3 Fazit

Zwar sind unterschiedliche Vorgehensmodelle verfügbar, von denen sich einige zur Entwicklung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme eignen. In der Praxis jedoch zeigt sich, dass bei der Entwicklung auch in der Flugsicherung die menschliche Perspektive nicht ausreichend und konsequent berücksichtigt wird. Systeme werden teilweise ohne Beteiligung der Nutzer oder mit wenigen Iterationen entwickelt, so dass sich Nutzungsprobleme erst spät aufdecken lassen. DIN EN ISO 9241-210 strebt eine organisierte, zielgerichtete Entwicklung mit Integration zukünftiger Nutzer an und ließe sich sicherlich in die meisten Entwicklungsprozesse integrieren. Die Anwendung der Norm könnte die Gebrauchstauglichkeit der entwickelten Systeme erhöhen, die Entwicklungsprozesse sowie Ergebnisse optimieren sowie zu einer höheren Akzeptanz bei den Nutzern führen. Jedoch stellt sich die Frage, welche Auswirkungen die Anwendung im Nutzungskontext Flugsicherung hat, welche Aspekte umsetzbar und an welcher Stelle Anpassungen im Vorgehen oder den einzelnen Aktivitäten notwendig sind.

3 Anwendung des Vorgehens im Arbeitskontext Flugsicherung

Die Anwendung der DIN EN ISO 9241-210 impliziert das mehrfache Durchführen der vier Aktivitäten. Je nach Anwendungsbereich und Produkt unterscheiden sich Ziele und Vorgehen in den einzelnen Aktivitäten. Im Folgenden werden diese für den Anwendungsbereich Flugsicherung beschrieben, unterschiedliche Möglichkeiten diskutiert, die jeweiligen Besonderheiten genannt und der abgeleitet. Auf diese Weise wird geprüft, inwieweit sich das in der Norm beschriebene Vorgehen für die Anpassung im Arbeitskontext Flugsicherung eignet.

3.1 Analyse des Nutzungskontexts

3.1.1 Ziel der Aktivität

Die erste Aktivität des menschenzentrierten Gestaltungsprozesses beinhaltet das Verstehen und Festlegen des Nutzungskontexts als Basis für die nachfolgenden Aktivitäten. Diese Beschreibung muss die Ableitung von sinnvollen und korrekten NutzerAnforderungen ermöglichen, so dass sie je nach Komplexität des Nutzungskontexts unterschiedlich umfangreich und dementsprechend aufwändig werden kann.

Arbeitssystemanalyse

Um der Komplexität des Nutzungskontexts Flugsicherung gerecht zu werden, ist eine Arbeitssystemanalyse sinnvoll, welche basierend auf der systemtheoretischen Betrachtungsweise den relevanten Ausschnitt des Arbeitssystems mit seinen Komponenten, Zusammenhängen, Material-, Informations- und Energieflüssen sowie relevante Einflüsse aus der Umwelt beschreibt (Rohmert, 1975). Die Elemente eines Arbeitssystems bzw. mehrere Arbeitssysteme können in hierarchischer oder sequentieller Beziehung zueinander stehen (Bokranz & Landau, 1991). Das daraus entstehende Arbeitssystemmodell ermöglicht die Einordnung der vier Aspekte des Nutzungskontexts: Den Nutzer mit seinen Eigenschaften, die Ziele und Aufgaben sowie die Umgebungsbedingungen.

Aufgaben und Tätigkeiten

An die Bestimmung des Arbeitssystems kann sich eine Aufgabenanalyse zur präzisen Beschreibung der Nutzertätigkeit und Ableitung der Anforderungen an das HMI anschließen (z. B. Kirwan & Ainsworth, 1992; Marti, 1998; Shepherd, 2000). Bei komplexen Aufgaben hilft eine strukturierte Beschreibung, wie sie in unterschiedlichen Untersuchungen eingesetzt wird (z. B. (Tavanti, 2006a; Kallus et al., 1999; Marti, 1998; Dittmann, Kallus & van Damme, 2000). Arbeitssysteme können

Aufträge und Aufgaben beinhalten (Hartmann, 2005): Aufträge geben Rahmenbedingungen vor und legen fest, welche Gegenstände unter welchen Bedingungen manipuliert werden sollen sowie welche Mittel, Wege und Personen dafür notwendig sind. Aufgaben beinhalten dagegen die individuelle Perspektive des Anwenders, entstanden durch eine Interpretation des erhaltenen Auftrags (Hacker, 2005). Die „Zweckbestimmung des Arbeitssystems“ (Bokranz & Landau, 1991) wird als Arbeitsaufgabe beschrieben, welche sich auf ein eher gegenständliches oder eher informationelles Arbeitsobjekt bezieht (Kirchner, 2000). Aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive können Aufgaben als Verhaltensbeschreibungen, Eignungsvoraussetzungen, Verhaltensforderungen bzw. Reiz-Komplexe betrachtet werden (Bokranz & Landau, 1991). Besonders die Betrachtung der Aufgabe durch die benötigten Fähigkeiten (Fleishman, 1975) betont, dass sich aus einer Aufgabe nicht nur die benötigten Fähigkeiten ableiten lässt, sondern man umgekehrt auch eine Aufgabe durch die zu ihrer Erfüllung benötigten Fähigkeiten und Eigenschaften, wie beispielsweise Informationsverarbeitungsfunktionen (Bokranz & Landau, 1991), beschreiben kann. „Die Anforderungen einer Tätigkeit ergeben sich somit aus den Arbeitsaufgaben und aus den aufgabenunspezifischen, situativen (d. h. aus der Umwelt herrührenden) Arbeitsbedingungen“ (S. 48).

Orientiert an klassischen Prozessschritten der menschlichen Informationsverarbeitung (vgl. z. B. Anderson & Funke, 2007; Wickens & Hollands, 2000) unterscheiden Bokranz und Landau (1991) drei Funktions- und Reaktionsbereiche des Menschen, mit denen eine Tätigkeit beschrieben werden kann. Der Funktionsbereich der Informationsaufnahme (Perzeption) beinhaltet die Sensorik und Wahrnehmung des Menschen. Dabei können, auch abhängig von den einzelnen Sinnesorganen, unterschiedliche Sinnesdimensionen (Merkmale) aufgenommen werden (z. B. Struktur, Muster, Farbe, Form und Größe als visuelle Informationen, Tonunterschiede und Richtung als akustische Informationen und Härte, Rauigkeit und Feuchtigkeit als haptische Informationen). Außerdem wird zwischen der Identifikation eines Musters (absolutes Unterscheiden, durch Vergleich mit Gedächtnisinhalten) und dem Vergleich von zwei vorliegenden Mustern (relatives Unterscheiden) unterschieden. Gestaltungsziel ist eine optimale Anpassung der wahrzunehmenden Informationen an die Möglichkeiten des jeweiligen Menschen. Die Informationsverarbeitung (Kognition) beinhaltet die Selektion und Kodierung der Informationen, bei komplexeren Aufgaben unter Einsatz des Langzeitgedächtnisses. Im Funktionsbereich der Informationsausgabe bzw. Handlung (Motorik) wird eine motorische Handlung vorbereitet, ausgeführt und kontrolliert. Besonders sensumotorische Aufgaben erfordern dabei eine hohe Koordinationsleistung.

Zur Analyse der Tätigkeiten in der Flugsicherung sind unterschiedliche Methoden verfügbar. Ziel dieser Methoden ist die Beschreibung der unterschiedlichen Aspekte einer Tätigkeit, z. B. häufig durchgeführte Einzeltätigkeiten, Abfolgen und die jeweiligen Zeitanteile und Relevanz (von

Rosenstiel, 2003), seltene Elemente und Besonderheiten. Ulich (2001) schlägt drei Schritte zur Tätigkeitsanalyse vor: Nach dem Erfassen der Teiltätigkeiten (Zusammensetzung, Ablauf) durch stichprobenartige Erhebungen wird ein Kategoriensystem entwickelt und mit größeren Stichproben bzw. über einen längeren Zeitraum hinweg zur Erhebung eingesetzt. Viele dieser Methoden wurden ursprünglich für andere Einsatzgebiete entwickelt, können jedoch an die Tätigkeit der Fluglotsen angepasst werden. Dazu hören z. B. das AET (Arbeitswissenschaftliches Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse nach Landau u. a., vgl. Landau, 1978), FAA (Position Analysis Questionnaire, McCormick, Jeanneret & Mecham, 1969 bzw. Fragebogen zur Arbeitsanalyse, Frieling & Graf Hoyos, 1978; nach Frieling & Sonntag, 1999) und VERA (Verfahren zur Ermittlung von Regulationserfordernissen in der Arbeitstätigkeit von Volpert, Oesterreich, Gablenz-Kolakovic, Krogoll & Resch, 1983). Analysewerkzeuge für spezifische Fragestellungen wie Automatisierung (z. B. ATAA, Wächter, Modrow-Thiel & Roßmann, 1999), psychische Belastung (z. B. RHIA, Leitner, Volpert, Greiner, Weber & Hennes, 1987) und Produktionsaufgaben (KOMPASS, Grote, Ryser, Wäfler, Windischer & Wink, 2000) sind ebenfalls verfügbar. Die Critical Incident Technique (Flanagan, 1954) wird häufig in der Flugsicherung eingesetzt, insbesondere um relevante, d. h. kritische, Ereignisse und Tätigkeiten zu identifizieren. Beobachtungsinterviews (von Rosenstiel, 2003, vgl. auch Kapitel 3.4.4) ermöglichen die Ergänzung von Beobachtungen bei der Datenerhebung vor Ort durch Befragungen der Nutzer (Frieling & Sonntag, 1999; Dunckel, 1999) und erlauben dem Beobachter damit einen tieferen Einblick in die Tätigkeit, ein besseres Verständnis und einen Zugang zu den mentalen Prozessen des Nutzers, welche einer reinen Beobachtung nicht direkt zugänglich sind. Diese Methode wird daher vor allem empfohlen, wenn die Tätigkeit große mentale Anteile hat, d. h. die Informationsverarbeitung des Nutzers im Mittelpunkt steht (von Rosenstiel, 2003). Eine Kombination mehrerer Methoden (z. B. FAA und Beobachtungsinterview) ist möglich.

Einige Methoden entstanden speziell für den Einsatz in der Flugsicherung. CARS (Controller Acceptance Rating Scale, Lee & Davis, 1996) wurde ursprünglich für Piloten entwickelt (Cooper-Harper-Scale, vgl. Cooper & Harper, 1969) und für Fluglotsen angepasst. Die Methode eignet sich v. a. zur Evaluation von Systemen und ermöglicht eine sensitive Erfassung der experimentellen Veränderungen von operativer Bedingungen (Bruder et al., 2009, S. 21). SWAT (Subjective Workload Assessment Technique, Reid & Nygren, 1988) erfasst die subjektive Beanspruchung von Operateuren in den Dimensionen „Belastung durch Zeitdruck“ (time load), „Belastung durch geistige Anstrengung“ (mental effort load) und „Psychische Belastung“ (psychological load) auf einer dreistufigen Skala. In einem ersten Schritt legt der Proband eine Rangfolge fest, erst im zweiten Schritt erfolgt die Einstufung in den drei Dimensionen. SWAT liegt in einer englischen und

in einer deutschen Version vor. Die Methode ATWIT (Air Traffic Workload Input Technique, Bruder et al., 2009) wurde aus POSWAT (Pilots Objective/Subjective Workload Analysis Technique, Rosenberg, Rehmann & Stein, 1982) abgeleitet und erfasst die subjektive Beanspruchung von Fluglotsen während ihrer Tätigkeit. Mehrfache Messungen sind möglich, so dass auch Verläufe der Beanspruchung abgebildet werden können. Bruder et al. (2009) stellten keinen signifikanten Effekt der Methode auf die Leistung der Lotsen fest. Das Verfahren F-JAS (Fleishman Job Analysis Survey, Fleishman, 1992, nach Bruder et al., 2009) erfasst standardisiert Anforderungen durch die Tätigkeit einer Person in sechs Bereichen und wurde in der Flugsicherung z. B. von Heintz (1998) eingesetzt. Ansätze zur Modellierung der Lotsentätigkeit wurden z. B. von Bierwagen (1999), Schulz-Rückert (2009), Blom, Stroeve, Everdij und van der Park (2003) sowie Möhlenbrink (2011) entwickelt.

3.1.2 Nutzungskontext „Fluglotse“

Das Verstehen und Festlegen des Nutzungskontexts im Bereich Flugsicherung erfordert aufgrund der vielfältigen Arbeitsplätze zunächst eine Eingrenzung. Anschließend folgt eine Beschreibung der Nutzer, ihren Eigenschaften, Arbeitsaufgaben und Zielen sowie die Analyse der Umgebungsbedingungen. Auf Besonderheiten wie z. B. Komplexität wird muss eingegangen werden, da diese einen wesentlichen Einfluss auf den Gestaltungsprozess haben können. Sowohl die Ableitung von Aufgaben und Zielen aus einer Beschreibung des Nutzers mit seinen Eigenschaften als auch der umgekehrte Weg ist möglich. Beide Aspekte sind für die Definition des Nutzungskontexts wichtig. Zu berücksichtigen sind neben der Arbeitsperson bzw. dem Anwender selbst auch weitere Elemente des Systems, z. B. weitere Arbeitspositionen, da hier mitunter komplexe Zusammenhänge und Wechselwirkungen möglich sind.

Nutzer

Der Arbeitskontext Flugsicherung beinhaltet eine Vielzahl möglicher Anwender und Arbeitsplätze, z. B. in Forschung, Verwaltung und Instandhaltung (vgl. DFS, 2011). Die Anforderungen an ein HMI bzw. der Nutzungskontext ist jedoch bei diesen Arbeitsplätzen vergleichbar mit denen in anderen Kontexten, wie z. B. in einer Versicherung, einem Automobilhersteller oder einer Universität, daher werden deren Nutzer in der vorliegenden Arbeit nicht thematisiert. Spezifische Arbeitsplätze haben jedoch u. a. Flugdatenbearbeiter, Mitarbeiter der Systemüberwachung sowie Flugverkehr-Kontrolllotsen (Fluglotsen). Letzere können im Tower (Flugplatzkontrolle), im Approach (An- und Abflugkontrolle bzw. Approach Control Office / APP) oder Enroute (Bezirkskontrolle, Area Control Center /ACC bzw. Upper Area Control Center / UAC) eingesetzt werden (Bruder et al., 2009, S. 29; DFS, 2008; Mensen, 2004). Insbesondere Tower-Fluglotsen arbeiten unter besonderen Bedingungen und mit sehr spezifischen Aufgaben. Sie müssen an- und abfliegende

Flugzeugen koordinieren, in eine sinnvolle Sequenz bringen und dabei häufig mit Flugzeugen und Piloten von sehr unterschiedlicher Leistungsfähigkeit arbeiten (Heintz, 1998). Ihre Zuständigkeit umfasst alle Fahrzeuge auf den Start- und Landebahnen (Runways, RWY) und Rollbahnen (Taxiways, TWY) sowie an einigen Flugplätzen auch das Vorfeld. Außerdem kontrollieren sie Flugzeuge in der Platzrunde. Dazu nutzen spezifische technische Systeme wie z. B. Luft- und Bodenlageradar sowie die Befeuerungssteuerung (z. B. Mensen, 2004; DFS, 2008) und als einzige Fluglotsen die direkte Außensicht. Für diese Arbeit wird der Nutzerkreis auf Tower-Fluglotsen beschränkt, die an einem Tower der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH oder The Tower Company in Deutschland eingesetzt sind. Dabei kann es sich sowohl um Tower an kleinen oder Regionalflughäfen handeln (z. B. Paderborn-Lippstadt) als auch an großen Flughäfen wie z. B. München oder Frankfurt/Main. In einem Tower sind die Arbeitspositionen des Platzlotsen (PL) und des Rolllotsen (Groundlotsen, GL) zu besetzen (DFS, 2008). Der Platzlotse koordiniert alle Flüge innerhalb der Kontrollzone des Flugplatzes, d. h. Starts, Landungen und Durchflüge (Tavanti, 2006b), der Rolllotse ist für die Koordination auf den Rollwegen zuständig. Beide Lotsen arbeiten eng zusammen, um einen reibungslosen Übergang für die Flugzeuge zu ermöglichen.

Der Tower-Fluglotse ist Teil eines Arbeitssystems. Häufig wird die Grenze des Systems dabei nicht um den einzelnen Lotsen, sondern um mehrere Arbeitspositionen gezogen und integriert damit mehrere Funktionen. So kann das Arbeitssystem auch den Platzlotsen und den Rolllotsen gemeinsam beinhalten, so dass die Kommunikation zwischen den beiden Arbeitspositionen nicht zu den Eingangs- und Ausgangsgrößen des Arbeitssystems zählt, sondern sich innerhalb des Systems befindet. Die Systemgrenze verläuft dann zwischen Tower-Lotsen und Vorfeldkontrolle. Doch selbst wenn die Grenze zwischen Platz- und Rolllotse gezogen wird, kann das Arbeitssystem „Platzlotse“ doch mehr als eine Person enthalten, insbesondere an Tovern mit hohem Verkehrsaufkommen, an denen die Überwachung einer Bahn von zwei Lotsen gemeinsam übernommen wird. Die Herausforderung bei solchen Hub-Airports bzw. großen internationalen Flughäfen liegt u. a. im relativ geringen und zeitlichen Abstand der Flugzeuge bei Starts und Landungen (ICAO, 2001, 6-1). Änderungen von Zeit und Strecke sind so nur noch schwer möglich und können massive Auswirkungen auf den übrigen Verkehr haben. An kleineren Tovern dagegen überwacht ein Lotse häufig alleine das gesamte Bahnsystem und nimmt sogar noch weitere Tätigkeiten wahr, wie z. B. die Vorfeldkontrolle (Hein, 2003; ICAO, 2001, 6-1). Die Schwierigkeit an solchen Tovern ist dabei die größere Bandbreite von Pilotenfähigkeiten (Berufs- vs. Privatpiloten, Flugschüler) und Leistungsfähigkeit der Flugzeuge (kleine vs. große Maschinen) sowie die Kombination von Flüge nach Sichtflugregeln (VFR) und Instrumentenflugregeln (IFR).

Ein Tower-Fluglotse ist wiederum Teil eines größeren Systems, indem er mittels Telefon mit Lotsen

im Center, die für den Nahbereich am Flughafen zuständig sind, sowie mit Piloten sowie weiteren Center-Arbeitsplätzen kommuniziert und sein Arbeitsziel nur durch Kooperation erreicht (Wickens et al., 1997; Mensen, 2004). Außerdem ist der Tower-Lotse in seine jeweilige Flugsicherungs-Organisation eingebunden, hat Kollegen und Vorgesetzte und ist möglicherweise als Teamleiter oder Ausbilder für weitere Lotsen verantwortlich. Einige Lotsen sind außerdem in Gewerkschaften organisiert und vertreten damit die Interessen einer größeren Gruppe. Abbildung 6 (Gräf, 2010) zeigt beispielhaft das Arbeitssystem eines Tower-Lotsen an einem Regionalflughafen.

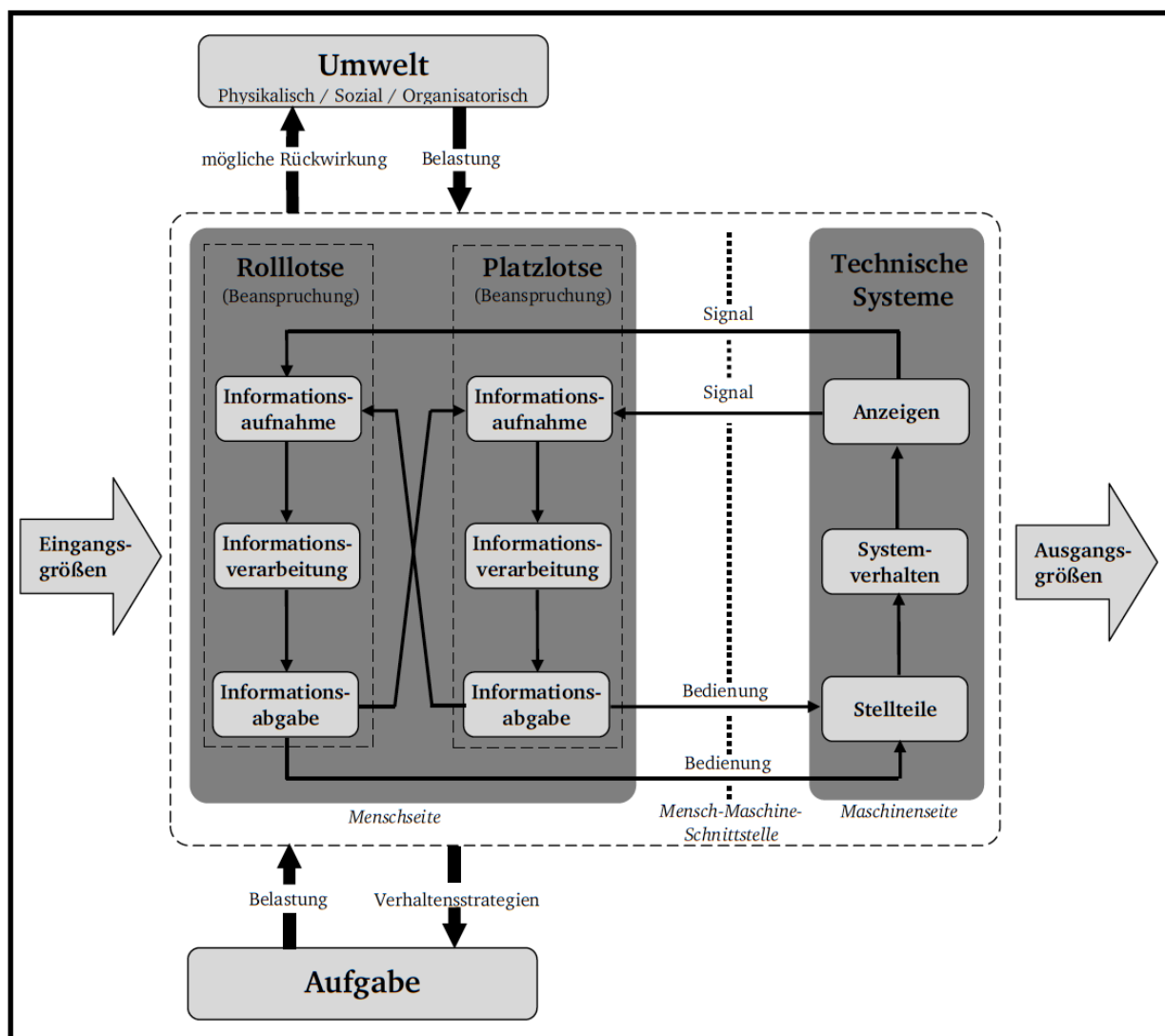


Abbildung 6: Arbeitssystemmodell Regional-Tower-Lotse (Gräf, 2010)

Eigenschaften der Nutzer

Die Eigenschaften von Tower-Fluglotsen lassen sich zunächst aus den allgemeinen menschlichen Eigenschaften ableiten. Alle Lotsen sind erwachsene Menschen mit den damit verbundenen körperlichen und geistigen Fähigkeiten und Einschränkungen. Das Mindestalter eines ausgebildeten Lotsen liegt bei ca. 20 Jahren, da Abitur vorausgesetzt wird und die Ausbildung mindestens zwei Jahre benötigt, das maximale Alter bei 55 Jahren (DFS, 2011). Die kognitiven Prozesse lassen sich mit allgemeinen Modellen wie z. B. dem Informationsverarbeitungsmodell nach Wickens und Hollands (2000) beschreiben. Wie die meisten Menschen nutzen Lotsen Informationen aus ihrer Umwelt, um Schlüsse zu ziehen, Handlungen abzuleiten und Vorhersagen über künftige Situationen zu treffen.

Fluglotsen sind jedoch eine spezielle Nutzergruppe. Sie werden in einem mehrstufigen Verfahren ausgewählt und in einem bundesweit einheitlichen Verfahren an der Flugsicherungsakademie der DFS ausgebildet (Bachmann, 2005; DFS, 2011; Vandrey & Mielke, 2012; Vandrey & Vandrey, 2012). Die Selektionsrate bei der Auswahl und in der Ausbildungsphase ist hoch. Die Ausbildung erfolgt in zwei Stufen: In der Theoriephase an der Akademie werden 12 bis 15 Monate lang die Grundlagen der Flugsicherung erlernt, trainiert (Bachmann, 2005). Diese Phase endet mit einer theoretischen Abschlussprüfung. Die spezifischen Bedingungen und Regeln eines konkreten Towers werden erst in der Praxisphase vermittelt. Dabei lernt der Lotse in einem On-the-Job-Training und unter der Verantwortung eines Ausbilders und erwirbt dabei die Berechtigungen für seinen Tower. Um diese zu behalten, muss er außerdem regelmäßig an Trainings der Akademie teilnehmen und so seine Fertigkeiten ständig überprüfen und verbessern. Die Ausbildung schließt mit einer Prüfung ab, um die Berechtigung zu einer selbstverantwortlichen Flugverkehrskontrolle zu erhalten. Diese Art der Ausbildung ist intensiv und aufwändig, die Lotsen erreichen, auch mit den verwendeten technischen Systemen, einen hohen Trainingsgrad. Bei Tower-Fluglotsen handelt sich somit um Nutzer, welche die HMI an ihrem Arbeitsplatz regelmäßig und nach einem intensiven Training verwenden. Während der Ausbildung und des Trainings werden Arbeitsstrategien sowie ein mentales Modell des Produkts aufgebaut und durch Erfahrung kontinuierlich weiterentwickelt. Dem Trainingsgrad entgegen wirkt eine mögliche altersbedingte Abnahme von kognitiven Fähigkeiten. Studien berichten eine Abnahme der Fähigkeit zum parallelen Bearbeiten mehrerer Aufgaben (Heil, 1999), eine länger dauernde Aufgabenbearbeitung und eine zunehmende Sensibilität gegenüber physikalischer Störgrößen wie z. B. Lärm oder Licht (Hagemann, 2000). Allerdings sind solche Ergebnisse mit Vorsicht zu betrachten, da sie häufig nur auf Querschnittsuntersuchungen basieren und damit keine individuelle Entwicklungen beschreiben kann, sondern Personen unterschiedlicher Generationen mit unterschiedlichen Lebenserfahrungen miteinander vergleicht. Außerdem wird häufig angenommen, dass der Fähigkeitsabbau mit zunehmendem Alter durch die ebenfalls

zunehmende Erfahrung, die Prozeduralisierung von Handlungen oder durch Anpassung von Verhaltensregeln kompensiert wird (z. B. Morrow, Leirer, Altierie & Fitzsimmons, 1994).

Aktuell ist für die Tauglichkeit eines Fluglotsen eine Sehschärfe für das Nah- und das Fernsehen von mindestens 0.7 auf jedem Auge (korrigiert oder unkorrigiert) und mit beiden Augen zusammen von mindestens 1.0 erforderlich (DFS, 2011; Bruder et al., 2009). Bei der DFS angestellte Fluglotsen müssen außerdem „farbnormal sehen, binokular zur Deckung kommen“ (Bruder et al., 2009, S. 51) und dürfen keine Einschränkungen des Gesichtsfelds aufweisen. Diese anspruchsvollen körperlichen Voraussetzungen lassen sich mit den hohen sensorischen Anforderungen der Tätigkeit begründen, Heintz (1998, S. 48) nennt hier eine gute Nacht-, Nah- und Fernsicht (night vision, near vision bzw. far vision), eine geringe Blendungsempfindlichkeit (glare sensitivity), eine funktionierende Tiefen- (depth perception) und Farbwahrnehmung (visual color discrimination). Hohe Ansprüche werden auch an den Hörsinn gestellt, wie z. B. die Fähigkeit, auf einzelne Schallquellen zu fokussieren (auditory attention, S. 48), Geräusche und Sprache zu erkennen, zu unterscheiden und zu verstehen (hearing sensitivity bzw. speech recognition) und selbst klar verbal kommunizieren zu können (speech clarity). Die auditive und visuelle Wahrnehmung ist für den Lotsen also von größter Bedeutung und wird schon in der Auswahl der Auszubildenden überprüft (vgl. DFS, 2011). Aktive Lotsen haben mindestens durchschnittliche Fähigkeiten in den genannten Bereichen und müssen diese regelmäßig kontrollieren lassen, um Verschlechterungen frühzeitig zu erkennen.

Von Fluglotsen wird eine überdurchschnittliche kognitive Leistungsfähigkeit erwartet (Heintz, 1998; DFS, 2011; Vandrey & Mielke, 2012). Aufmerksamkeit, Gedächtnis und Konzentrationsfähigkeit werden schon bei der Auswahl berücksichtigt und im Rahmen der Ausbildung weiter gefördert. Die kognitiven Anforderungen wurden in zahlreichen Studien untersucht (z. B. Köper, 2001; Hein, 2003; Heintz, 1998; Zimmermann, 2001). Heintz (1998, S. 83) identifiziert auf der Basis von Lotsenbefragungen 13 relevante kognitive Anforderungen an Center-Lotsen. Diese beziehen sich insbesondere auf eine schnelle und exakte Wahrnehmung (Speed / Flexibility of Closure, Perceptual Speed), eine hohen Organisiertheit (Time sharing, Information ordering, Selective Attention, Problem sensitivity) und sprachliche Kompetenz (Oral Comprehension / Expression) sowie ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen (Visualization, Spatial Orientation). Nunes und Mogford (2003) weisen ebenfalls auf die Bedeutung der räumlichen Vorstellung des Verkehrsszenarios hin. Studien zeigten die Abnahme einige dieser kognitiven Fähigkeiten, wie z. B. die Fähigkeit zur parallelen Bearbeitung von Aufgaben, mit zunehmendem Alter (Heil, 1999; VanDeventer, Collins, Manning, Taylor & Baxter, 1984). Andererseits kann diese Abnahme häufig durch Anpassung des Verhaltens und die zunehmende Erfahrung kompensiert werden (Morrow et al., 1994).

In den letzten Jahren wird außerdem eine zunehmende Bedeutung der interaktiven bzw. sozialen Fähigkeiten berichtet (z. B. Masson & Paries, 1998; Ruitenbergh, 1998). Dazu gehören Fähigkeiten, welche die Zusammenarbeit mit anderen Menschen erleichtern, wie das Absprechen und Koordinieren gemeinsamer Ziele („cooperation“, Heintz, 1998, S. 56) oder das Mitteilen von Informationen („communication“), jedoch auch Fähigkeiten zur Selbstkontrolle bzw. Selbstführung in schwierigen oder emotionalen Situationen, wie z. B. Motivation (motivation) bzw. schnelle Erholung nach demotivierenden Situationen (persistence) und Stressresistenz (stress resistance). Vogt (1998) spricht von „Selbstmanagement“ (S. 228) als eine Schlüsselqualifikation für Fluglotsen. Außerdem müssen Situationen sowie die eigenen Möglichkeiten sicher und schnell beurteilt und sinnvolle Handlungen abgeleitet werden. Dazu gehört eine angemessen schnelle Entscheidungsfindung („decision making“ bzw. „resistance to premature judgement“, Heintz, 1998, S. 48), ein guter Überblick über die aktuelle, vergangene und zukünftige Situationen („situational awareness“), eine realistische Selbsteinschätzung („self awareness“) und eine flexible Anpassung des Verhaltens an die jeweiligen Bedingungen („behavior flexibility“). Die psychomotorischen Anforderungen sind dagegen weniger hoch. Heintz (1998) nennt hier lediglich eine geringe Reaktionszeit („reaction time“) auf Signale. Von den Lotsen selbst werden die psychomotorischen Anforderungen sehr unterschiedlich beurteilt (Hein, 2003).

Ziele und Aufgaben

Klassisches Aufgabengebiet der Fluglotsen ist die Beratung und Kontrolle im Luftverkehr (Bruder et al., 2009, S. 12), um jederzeit einen sicheren, geregelten und zügigen Flugverkehr („safe, orderly, and expeditious flow of air traffic“, Hopkin, 1980, S. 548) zu gewährleisten. Der Lotse überwacht die Bewegungen in seinem Verantwortungsbereich, erteilt Freigaben (z. B. Anlassen der Triebwerke, Befahren der Start- und Landebahnen, Starts, Landungen, Verlassen oder Durchfliegen der Kontrollzone) und greift in Notsituationen ein. Dabei besteht meistens Sichtkontakt zu den Flugzeugen (Bachmann, 2005). Eine Beschreibung der Aufgaben aller Lotsenpositionen beinhaltet in der Betriebsanweisung Flugverkehrskontrolle (DFS, 2008), darunter die sichere räumliche und zeitliche Staffelung von Flugzeugen und die Abwicklung eines sicheren und wirtschaftlichen Luftverkehrs (Mensen, 2004, S. 72), wenngleich diese Ziele zum Teil nur schwer in Einklang zu bringen sind (vgl. Hopkin, 1980, S. 548). Die Tätigkeit besteht damit im Wesentlichen aus anspruchsvollen, zeitkritischen und sicherheitsrelevanten Aufgaben (Wickens et al., 1997). Der Verantwortungsbereich des Tower-Lotsen umfasst prinzipiell alle Bewegungen auf Rollwegen, Start- und Landebahnen sowie in der Platzrunde (Mensen, 2004; ICAO, 2001). Dabei muss er ggf. vorhandene Flugpläne bzw. die vorgesehenen Zeitfenster (slots) berücksichtigen. Die Flugkoordination erfolgt entweder nach Instrumenten- oder nach Sichtflugregeln, abhängig vom Flugplatz und den jeweiligen Flugzeugen.

Üblich ist ein Verkehrsmix aus Flugzeugen unterschiedlicher Größe und Leistungsfähigkeit sowie Flugregeln. An Regionalflughäfen werden alle diese Aufgaben häufig von einem Team aus zwei Lotsen, in Tagesrandzeiten nur von einem Lotsen erfüllt. Größere Flughäfen mit höheren Verkehrsaufkommen teilen diese Aufgaben auf mehrere Arbeitspositionen auf. So ist der Tower in Frankfurt mit bis zu fünf Tower-Lotsen besetzt: Vier Lotsen kontrollieren die Start- und Landebahnen (Platzlotsen), ein Lotse den Rollverkehr (Rolllotse). Die Kontrolle des Vorfelds ist vollständig ausgelagert und wird von dem Flughafenbetreiber Fraport AG übernommen. Werden die Aufgaben auf mehrere Arbeitspositionen verteilt, spielt die Koordination eine wesentliche Rolle, so dass die Tätigkeit eines Tower-Lotsen nicht isoliert betrachtet werden kann, sondern nur im Zusammenspiel mit den anderen Arbeitspositionen. Die gemeinsame Entscheidung mit dem Piloten wird dabei immer wichtiger (Bruder et al., 2009, S. 12).

Eine Beschreibung der Tätigkeit von Center-Lotsen als Kombination der drei Informationsverarbeitungszyklen Monitoring, Antizipation und Konfliktresolution nimmt das Modell der Fluglotsenleistung (MoFL) vor (Niessen, Eyferth & Bierwagen, 1999; Bierwagen, 1999). Es beschreibt, wie aus der Vielzahl verfügbarer Informationen die relevanten herausgefiltert (Datenselektion) und im Sinne eines Monitoring für die Aktualisierung des mentalen Situationsbilds (Picture) verwendet werden. Darauf aufbauend erfolgt die Antizipation des möglichen Verkehrsverlaufs bzw. die Abschätzung, ob Handlungsbedarf besteht, indem Konfliktpotential und mögliche Konfliktpartner identifiziert werden. Weitere Modell-Module beinhalten Konfliktlösung und Prozedursteuerung.

Bei der Aufgabenbeschreibung für eine Arbeitsposition an einem Tower muss jedoch die eingeschränkte Übertragbarkeit auf weitere Tower berücksichtigt werden. Zwar gelten innerhalb Deutschlands die gleichen standardisierten Vorgehensweisen und Regeln, diese werden allerdings an die jeweiligen Bedingungen angepasst, abhängig z. B. von der technischen Ausstattung, der geografischen Lage, Größe und Verkehrsdichte des Flugplatzes usw. Weitere Unterschiede ergeben sich auf europäischer und weiter auf internationaler Ebene, unter anderem durch den jeweiligen kulturellen Hintergrund, sprachliche Bedingungen, die vorhandene Arbeitsmethodik und Ausbildung der Lotsen (z. B. Dittmann et al., 2000; Truitt, 2006). Beschreibungen der Arbeitssituation eines konkreten Flughafens liegen z. B. von Pinska (2007), Wittbrodt (2007) und Dubuisson (2006) vor. Tavanti (2006b) entwickelte basierend auf Analysen an zwei Flugplätzen ein abstrahiertes Modell der Fluglotsentätigkeit, dass weitgehend unabhängig von lokalen Besonderheiten ist. Das Modell unterscheidet zwischen Aufgaben und Teilaufgaben und stellt die vorhandenen Beziehungen dar. Die Hauptaufgabe des Tower-Lotsen ist das Leiten bzw. Überwachen der Starts und Landungen (Rossi et al., 1996, zitiert nach Tavanti, 2006b, S. 22, eigene Übersetzung). Darunter lassen sich die einzelnen Aufgaben Situationsüberwachung und -bewertung (monitor/assess situation), Planung der

Flugverkehrsregelung (plan traffic management), Änderung der Vorrangfolge bewältigen (handle new priorities), Unterstützung des Flugzeugs (assist/act on a/c), Konfiguration der Start- und Landebahnen (configure runway usage) und Kommunikation bzw. Koordination mit anderen (communicate/coordinate with other controllers) einordnen. Um die ersten vier der grundlegenden Aufgaben erfüllen zu können, muss der Lotse über ein Picture verfügen, d. h. über ein analoges, partielles und temporäres mentales Modell der zu kontrollierenden Situation (Hauß, 2006). Jede Aufgabe kann wiederum in Teilaufgaben zerlegt werden, wie beispielsweise die Situationsüberwachung und -bewertung in die Teilaufgaben „Kontextinformationen erlangen“, „Runways überwachen“, „Überwachen des aktuellen und Abschätzen des zukünftigen Verkehrs“ sowie „Aktualisierung des mentalen Pictures“.

Die Tätigkeit des Lotsen folgt festgelegten Regeln. Innerhalb dieser Regeln sind jedoch unterschiedliche Strategien möglich (Wickens et al., 1997). Eine eher proaktiven Arbeitsweise versucht, mögliche Kommunikationsprobleme zu vermeiden, indem Anweisungen an das jeweilige, antizipierte Leistungsniveau bzw. die Erfahrungen der Piloten angepasst werden. Der Lotse versucht außerdem, die nächsten Schritte vorherzusehen, d. h. zukünftige Situationen zu antizipieren und sich schon vorbereiten. Bei einer eher reaktiven Arbeitsweise dagegen wartet der Lotse Handlungen des Piloten ab und reagiert erst auf konkrete Anfragen. Um Missverständnisse zu vermeiden und eine klare und eindeutige Kommunikation an allen Flughäfen zu erhalten, wird eine einheitliche Phraseologie verwendet (Tavanti, 2006b; Bachmann, 2005). Die Kommunikation an deutschen Flughäfen erfolgt auf englisch oder deutsch.

Insgesamt sind also zwei wesentliche Aufgabengruppen zu berücksichtigen: Die Situationsüberwachung (Gesamtüberblick) und -planung unter Berücksichtigung aktueller und zukünftiger Situation (z. B. Tavanti, 2006b; Marti, 1998) sowie die Koordination des Verkehrsflusses durch unterschiedliche Mittel, wie z. B. die Kommunikation mit Kollegen oder Piloten (z. B. Marti, 1998, zur Kommunikation siehe auch Gräf, 2010). Dazu nutzt der Lotse unterschiedliche Informationsquellen und Medien, um jederzeit ein aktuelles und kohärentes mentales Situationsbild zu besitzen. Endsley (1995) nennt dies Situation Awareness und beschreibt damit das Wissen über und Verständnis von Informationen aus der Situation sowie die Projektion zukünftiger Systemzustände. Kluwe (2008) betrachtet die Situation Awareness als die aktuelle Aufmerksamkeitsverteilung, das Verständnis dieser Informationen sowie die Erwartungen, und weist darauf hin, dass sie sich auf Entscheidungen und Handlungen einer Person auswirkt. Kallus, Barbarino und van Damme (1997) verstehen darunter das kontinuierliche Extrahieren und Integrieren von Informationen aus der Umwelt. Der Aufbau der Situation Awareness gehört zur Aufgabengruppe der Situationsüberwachung (vgl. Tavanti, 2006a; Marti, 1998) und unterscheidet sich vom Konzept des mentalen

Modells: Während die Situation Awareness sich ständig verändert und der aktuellen Situation angepasst werden muss (Kluwe, 2008), ist ein mentales Modell ganz allgemein eine interne, vereinfachte Repräsentation der realen Welt (Jürgensohn, Niessen & Leuchter, 2002), welches sich deutlich langsamer durch die Integration neuer Informationen verändert. Zudem ist ein mentales Modell umfassender, da es nicht nur die aktuelle Situation, sondern insbesondere frühere Erfahrungen und Wissen mit berücksichtigt und mit bestimmt, welche Informationen ein Nutzer beachtet und auswählt, welche Bedeutung er ihnen zuschreibt und welche Handlungen er daraus ableitet (Kluwe, 2008). Allerdings ist es, wie alle Modelle, nur eine Abbildung der originalen Situation und muss nicht zwangsläufig vollständig oder korrekt sein. Mit zunehmender Expertise des Nutzers werden Modelle häufig einfacher, was sie zwar übersichtlicher, jedoch auch weniger funktional machen kann (Kluwe, 2008). In der Flugsicherung wird häufig analog der Begriff des Pictures verwendet, welches ein temporäres mentales Modell eines Realitätsausschnitts im Sinne einer Momentaufnahme (Kallus et al., 1997) bezeichnet. Das Picture wird durch Integration weiterer Informationen ständig an die Gegebenheiten angepasst, indem unter Nutzung der kognitiven Kapazität die einzelnen Objekte und Objektbeziehungen betrachtet und ihre Relevanz für die aktuelle Aufgabe abgewogen werden (Jürgensohn et al., 2002). Kallus et al. (1997) unterscheiden zwischen mentalem Modell, Situation Awareness als ein Zustand, bei dem das Picture mit den aktuell vorliegenden Situationsbedingungen übereinstimmt und Picture als eine Ableitung aus dem mentalen Modell sowie vorhandener Umgebungsbedingungen.

Die Tätigkeit eines Fluglotsen lässt sich damit als vorwiegend informatorische bzw. mentale Arbeit (vgl. Rohmert, 1973) einordnen, d. h. als Tätigkeit mit dem Schwerpunkt in der Informationsaufnahme, -verarbeitung und -abgabe (vgl. Schlick et al., 2010) bzw. sensorische, diskriminatorische, kombinatorische und sensumotorische Tätigkeiten. Muskelarbeit (vgl. Bokranz & Landau, 1991) spielt nur eine geringe Rolle. Die mentale Beanspruchung der Lotsen kann hoch sein (Rohmert, 1973, Wickens et al., 1997), Belastungsgrößen ergeben sich aus dem Verkehrsablauf (z. B. Anzahl der Flugzeuge unter Kontrolle, Anzahl von Konflikten, Typ der Flugzeuge, Geschwindigkeiten und Geschwindigkeitsänderungen), dem Arbeitsablaufs (z. B. Informationsgehalt, Häufigkeit und Dauer des Funksprechverkehrs), dem Arbeitsplatzes (z. B. Abmessungen, Hilfsmittel), der Beschaffenheit des Sektors (z. B. räumliche Ausdehnung, Luftraumbeschränkungen) und die Umgebung des Lotsen (vgl. Rohmert, 1975, Rohmert, 1973; Zimmermann, 2001; Köper, 2001; Hagemann, 2000; Gräf, 2010). Die z. T. schlechte Ausstattung der Lotsen trägt zu einer höheren Beanspruchung bei (Zimmermann, 2001). Die Veränderung von bestehenden Arbeitsmitteln und -systemen bzw. die Neuentwicklung führt zu Verschiebungen der Belastungen (Rohmert, 1975) bzw. neuen Formen der Beanspruchung (Köper, 2001). Daher spielt der Informationsbedarf der Lotsen bei der Entwicklung

von HMI eine wichtige Rolle. Um die benötigten Informationen korrekt und bedarfsgerecht darzustellen und die Tätigkeit zu unterstützen, muss zuerst erfahren werden, wann welche Information an welcher Stelle und in welcher Form benötigt wird.

Umgebungsbedingungen

Die Umgebungsbedingungen als Teil des Nutzungskontexts, vergleichbar mit den Umwelteinflüssen des Arbeitssystemmodells (vgl. z. B. Schlick et al., 2010, Bokranz & Landau, 1991), beinhalten physikalisch-chemischen Faktoren sowie soziale und organisatorische Einflüsse.

Die räumliche Umgebung von Tower-Lotsen ist ein Kontroll-Tower direkt an dem zu kontrollierenden Flugplatz. Die Größe und Höhe des Towers variieren. Seine Position ermöglicht im Allgemeinen einen guten Überblick über das Bahnsystem (Hopkin, 1995), neben der Ausrichtung der Bahnen spielt dabei auch die Lage der Gebäude am Boden eine Rolle. Große Fensterscheiben erlauben die direkte Sicht auf seinen Verantwortungsbereich (Bachmann, 2005) und eine sensorische Kontrolle (vgl. Johannsen, 1993) der technisch vermittelten Informationen. Eine Studie am Tower Warschau (Pinska, 2007) belegte die hohe Relevanz der Außensicht für den Tower-Lotsen unter den heutigen Arbeitsbedingungen, trotz der starken Abhängigkeit von den jeweiligen Sicht- bzw. Wetterbedingungen. Allerdings variieren so auch die Lichtverhältnisse im Tower durch die Tageszeiten und Wetterbedingungen stark. Weitere, in einem gewissen Rahmen anpassbare, Lichtquellen sind Arbeitsplatzleuchten und Deckenbeleuchtung sowie die vorhandenen Displays. Lufttemperatur, -feuchtigkeit und -geschwindigkeit werden durch Klimaanlage kontrolliert und weichen daher nicht wesentlich von üblichen Bedingungen ab. Da die Tätigkeit die Abstimmung durch Telefon, Sprechfunk und direkte Kommunikation beinhaltet, entsteht durch die Stimmen ein deutlich wahrnehmbarer Geräuschpegel, der jedoch niedrig genug ist, um die Kommunikation mit Kollegen im Raum sowie mit Piloten über Funk zu erlauben. Weitere Geräuschquellen sind Warntöne sowie die Flugzeuge selbst.

Technische Hilfsmittel unterstützen den Tower-Lotsen bei seiner Tätigkeit, sind jedoch auch ein Belastungsfaktor und wirken auf die Beanspruchung ein (Zimmermann, 2001). Die technische Ausstattung unterscheidet sich von Tower zu Tower, einige Systeme sind überall verfügbar, da sie für eine sichere Kontrolle als notwendig betrachtet werden (DFS, 2008), und direkt am Arbeitsplatz des Lotsen angeordnet, so dass sie ohne Verlassen des Arbeitsplatzes genutzt werden können. Für die Überwachung des Luftraums steht dem Tower-Fluglotsen u. a. ein Luftlageradar zur Anzeige beweglicher Ziele in einem geografischen Bezugssystem zur Verfügung (Mensen, 2004, S. 357). Durch Korrelation von Primär- und Sekundärradar ist eine Zuordnung von Radarzielen und Flugzeugkennung möglich, sodass die aktuelle und frühere Position, Höhe und Geschwindigkeit einzelner

Flugzeuge angezeigt werden kann. Wetterdaten-Anzeigen gehören zur Grundausstattung jedes Towers und präsentieren ständig aktualisierte Messdaten, z. B. Windrichtung und -geschwindigkeit, Sichtweiten, Temperatur und Luftdruck (Deutscher Wetterdienst, 2007). An größeren Tovern steht zusätzlich ein Bodenlageradar zur Erfassung der Position von Flugzeugen am Boden bzw. im Flughafenbereich bei eingeschränkter Sicht (z. B. durch Nebel, Dunkelheit oder Verdeckung durch Gebäude) zur Verfügung (Mensen, 2004). Zur Koordination des Verkehrs mit Kollegen an anderen Arbeitspositionen (z. B. der An- und Abflugkontrolle im Center) wird Telefon und Funk eingesetzt, der Kontakt mit den Piloten erfolgt über Funk, teilweise auch über Data-Link. Sind mehrere Lotsen in einem Tower, ist auch eine direkte Abstimmung möglich („elbow coordination“, Marti & Scrivani, 2002). Die Kommunikation muss eindeutig und klar erfolgen, da Missverständnisse sicherheitskritische Situationen verursachen können (Fricke et al. 1997; Cardosi & Yost, 2001). Die taktische Verkehrsplanung wird mit Hilfe von digitalen oder Papier-Kontrollstreifen dokumentiert (Hein, 2003), welche alle zur Planung relevanten Flugdaten wie z. B. Rufzeichen, Ziel und Zeitfenster enthalten (Mensen, 2004) und durch ihre Reihenfolge der Streifen häufig die zeitliche Sequenz repräsentieren (Tavanti, 2006b, S. 4). Zimmermann (2001) bezeichnet die Kontrollstreifen außerdem als Kommunikationsmittel, da mit ihnen Informationen über die Planung und einzelne Flugzeuge ausgetauscht werden. Bis auf die Außensicht und eine Uhr sind nahezu alle Arbeitsmittel an der Konsole des Lotsen positioniert, entweder eingebaut oder in räumlicher Nähe aufgestellt. Abbildung 7 zeigt einen schematischen Aufbau an einem großen internationalen Verkehrsflughafen.

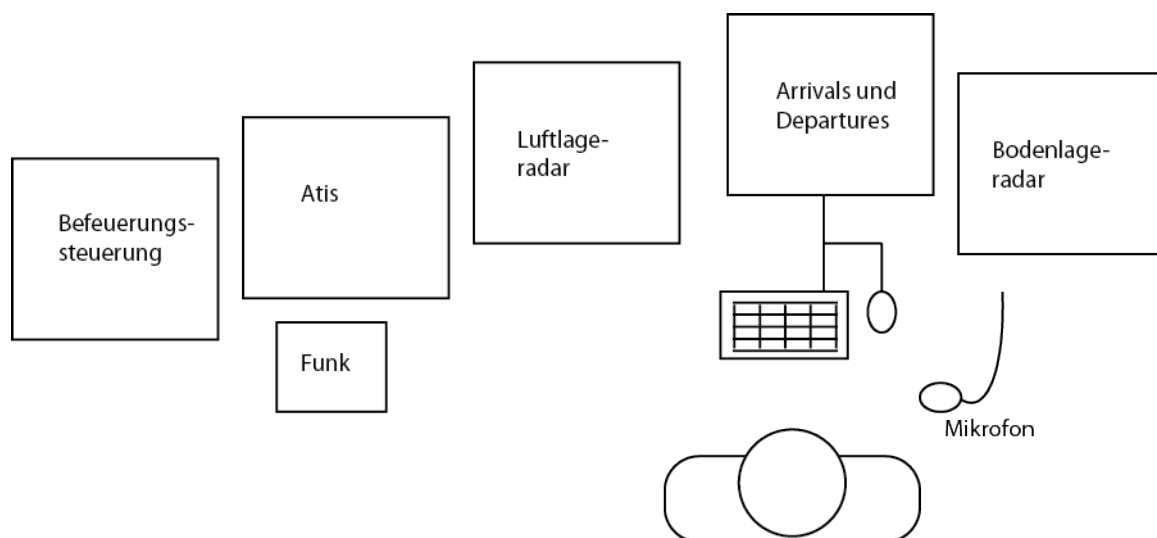


Abbildung 7: Beispiel für die Anordnung von Arbeitsmitteln

Bei der Nutzung der technischen Systeme arbeitet der Lotse „head-down“ (Pinska, 2007; Hilburn, 2004), d. h. er schaut eher nach unten, wohingegen „head-up-Arbeiten“ die Nutzung der Außensicht

bzw. einen nach vorne oder oben gerichteten Blick bezeichnet. Die Außensicht ist objektiv (Dauer der Blickzuwendungen) und subjektiv (Aussagen der Lotsen) die wichtigste Informationsquelle zur Verifikation der auf den technischen Systemen angezeigten Daten, zur Identifikation von Flugzeugen oder Abschätzung der Fähigkeiten des jeweiligen Piloten (Pinska, 2007; Tavanti, 2007). Die Blickzuwendungen nach draußen (Head-up) sind häufig und von langer Dauer, während die Informationen der technischen Systeme (Head-down) zwar häufig, jedoch nur kurz genutzt werden. Bei Verschlechterung der Sichtbedingungen nimmt die Bedeutung der technischen Informationsquellen jedoch zu. Mit dem Wechsel zwischen Head-down- und Head-up-Arbeiten verbunden ist eine Akkommodation zwischen Nah- und Fernbereich (vgl. Schmidt & Schaible, 2006) bzw. ein ständiger Wechsel des Fokusses, was kurzfristig Zeit kostet (Hilburn, 2004) und langfristig möglicherweise zur Ermüdung führen kann. Dies muss bei der Gestaltung des Arbeitsplatzes und der Positionierung von HMI berücksichtigt werden.

Der Lotse ist in eine kooperative Arbeitsumgebung eingebunden (Marti, 1998), seine Tätigkeit beinhaltet die ständige Abstimmung mit Kollegen und Piloten. Da viele Flugplätze auch in Tagesrandzeiten, am Wochenende und teilweise sogar nachts besetzt sind, ist Schichtarbeit notwendig (z. B. Hopkin, 1970; Arnvig et al., 2006; Hagemann, 2000). Häufig arbeiten Lotsen in festen Teams, die mit relativ großer zeitlicher Überschneidung gemeinsam im Tower sind. Pausen sind fest vorgegeben und zu festgelegten Zeitpunkten einzuhalten. Auf diese Weise soll die Belastung und Beanspruchung der Lotsen möglichst gering und die Leistungsfähigkeit über die gesamte Arbeitszeit erhalten bleiben.

3.1.3 Komplexität

In der Flugsicherung gelten für die Gestaltung von HMI ganz spezielle Bedingungen, die zum Teil organisatorisch, zum Teil in der Aufgabe begründet sind. Bei Einsatz eines neuen HMI muss sichergestellt sein, dass es beispielsweise die Arbeit des Lotsen besser unterstützt, Probleme behebt, Risiken minimiert, kognitive Ressourcen schont und kostengünstig ist. Besonders gilt das bei Anwendungen für Fluglotsen: Hoher Zeitdruck und ein komplexes Arbeitssystem führen dazu, dass jedes HMI zahlreiche, mitunter konkurrierende Anforderungen erfüllen muss. Das Risiko einer Fehlbildung bzw. einer Fehlentscheidung muss möglichst gering gehalten werden. Systembedingte Wartezeiten, Fehleingaben, Unklarheit oder Unsicherheiten werden nicht akzeptiert. Ziel ist ein möglichst großer Anteil von Head-Up-Arbeit (Hilburn, 2004). Insbesondere die Komplexität des Arbeitssystems bildet dabei besondere Herausforderungen für die Gestaltung von HMI. Nach Dörner (2003) lassen sich komplexe Situationen daran erkennen, dass viele, voneinander abhängige Elemente bzw. Merkmale vorhanden sind und gleichzeitig beachtet werden müssen. Die einzelnen

Systemvariablen sind miteinander verknüpft (Vernetztheit), gleichzeitig ist nur ein Ausschnitt der Realität sichtbar. Komplexität ist jedoch keine objektive, sondern eine subjektive Größe (Dörner, 2003, S. 62). Je mehr Kompetenzen und Erfahrungen ein Mensch besitzt, desto eher kann er die Komplexität für sich reduzieren, indem er mehrere Merkmale zusammenfasst, so dass der Umgang mit ihnen erleichtert wird (Dörner, 2003, S. 62).

Arten der Komplexität

Es können unterschiedliche Komplexitätsarten unterschieden werden, wobei ein System mehrere Arten gleichzeitig aufweisen kann.

Bei **komplexen Systemen** spielt vor allem die Dynamik (Zeitdruck, Erfassen von Entwicklungstendenzen notwendig), die Intransparenz (nicht alle benötigten Infos direkt oder indirekt zugänglich) und Unkenntnis bzw. falsche Hypothesen (Strukturwissen, Realitätsmodell, implizites und explizites Wissen) eine wesentliche Rolle (Dörner, 2003). Der Fokus liegt auf den einzelnen Systemkomponenten und ihrer Vernetztheit. Die realen Zusammenhänge sind häufig nichtlinear und für Menschen evtl. schlecht zu überblicken. Aufgrund von unvollständigen oder falschen Kenntnissen der Systemeigenschaften bilden die Nutzer inkorrekte Hypothesen über Eigenschaften und Zusammenhänge. Auf Störungen im System oder Aufgaben reagieren sie häufig irrational, es werden bevorzugt diejenigen Teilprobleme angegangen, die ihnen besonders präsent sind oder für die sie Kompetenzen zur Lösung haben („Reparaturdienstverhalten“, Dörner, 2003, S. 88). Probleme, die sich langsam und mit schwierig wahrnehmbaren Anzeichen entwickeln, werden übersehen. Informationen, die nicht zur gebildeten Hypothese passen, werden ignoriert („reduktive Hypothese“), passende Informationen selektiv ausgewählt. In eine ähnliche Richtung gehen Wickens & Hollands (2000), indem sie Merkmale komplexer Situationen beschreiben und Gestaltungsregeln ableiten.

Die **Informationskomplexität** erfasst den Anspruch einer Situation an das menschliche Informationsverarbeitungssystem (Xing, 2004). Tullis (1988) beschreibt die Komplexität eines Displays mit Textdarstellung anhand der Dichte und Anordnung der Elemente. Typische Maße sind außerdem die minimale Größe, mit der ein System beschrieben werden kann (Crutchfield & Young, 1989) sowie die logische Tiefe, mit der ein Programm minimaler Länge ein bestimmtes Ergebnis berechnen kann („logical depth“, Bennett, 1990, nach Xing (2004, S. 1). Xing und Manning (2005) nennen als Maße die Anzahl und Größe funktioneller Einheiten (numeric size), die Verschiedenheit der Elemente und Muster (variety) und die Regeln und Anzahl der Relationen zwischen den Elementen (structural rules). Ein weiteres Maß wäre die Anzahl der Informationswechsel pro Zeiteinheit als Maß für die Dynamik. Die Bewertung der Komplexität mit den drei erstgenannten Maßen erfolgt für die einzelnen Stufen des menschlichen Informationsverarbeitungsprozesses, was zu einer 3x3-

Matrix führt, die als Grundlage der Gestaltung dienen kann (Tabelle 3, eigene Darstellung nach Xing (2004)). Sie folgt dabei der Annahme, dass die Komplexität eines HMI abhängig ist von der generellen und individuellen Informationsverarbeitung des Menschen und berücksichtigt beispielsweise die unterschiedlich ausgeprägte Fähigkeit, Muster oder Ordnungen zu erkennen). Kirwan (2005, S. 495) identifiziert 12 Faktoren, welche die Komplexität der Fluglotsentätigkeit bestimmen, wie z. B. „Volume/flow/growth rate of traffic“ und „Airspace design“, und gibt Gestaltungshinweise, um diese Komplexität zu reduzieren und z. B. Automatisierung sinnvoll einzusetzen.

Tabelle 3: Komplexität bezogen auf Informationsverarbeitung

	Wahrnehmung	Kognition	Handlung
Größe / Anzahl	Anzahl der Gruppen, die fixiert werden können	Anzahl der Funktionen / Aufgaben	Zahl der Tastatur- und Mauseingaben, Augen- oder Kopfbewegungen, Wege auf dem Display
Verschiedenartigkeit der Muster	Verschiedenartigkeit der Gruppen (Zeigengröße, Leuchtdichte, Kontrast, ...)	Dynamische Änderung der Einheiten	Zahl der Übergänge zwischen Eingabemedien
Beziehungen	Lesbarkeit / Erkennen innerhalb der Umgebung	Anzahl der Variablen innerhalb einer Einheit, die für die Bearbeitung berücksichtigt werden müssen, indirektes Maß für Arbeitsgedächtnisbelastung, max. 4 Elemente gleichzeitig	Tiefe / Zahl der Schritte innerhalb einer funktionalen Einheit, Anzahl der Level

Die **kognitive Komplexität** berücksichtigt, wie viele kognitive und Wahrnehmungs-Ressourcen für die Verarbeitung der verfügbaren Informationen benötigt werden (Xing & Manning, 2005). Sie ist damit im besonderen Maße subjektiv. Pervin (1984, S. 507, zitiert nach Rauterberg, 1996, S. 1) definiert kognitive Komplexität als „an aspect of a person's cognitive functioning which at one end is defined by the use of many constructions with many relationships to one another (complexity) and at the other end by the use of few constructs with limited relationships to one another (simplicity)“. Rauterberg (1996) leitet aus dieser allgemeinen Definition eine auf die Mensch-Computer-Interaktion bezogene ab. Kognitive Komplexität ist demnach die Komplexität des mentalen Modells des Nutzers vom Dialogsystem, welche wiederum durch die Anzahl der Konstrukte und ihrer Beziehungen bestimmt wird. Die Erhebung erfolgt durch Beobachtung von Nutzern bei der Aufgabenlösung, die Beschreibung der Aktionen oder des Lösungsraums sowie ein objektives Maß für die Aufgabe und schließt demnach sowohl das Verhalten des Nutzers als auch Eigenschaften von System und Aufgabe mit ein.

Die **Interaktionskomplexität** wird hier definiert als die Komplexität, die sich u. a. durch die Art, die Häufigkeit und der Variabilität der Interaktionen, die für eine Aufgabe im Umgang mit einem technischen System notwendig sind (vgl. Tsonis, 2003; Obendorf, 2009). Auch diese Art von Komplexität ist subjektiv. Interaktionen können erlernt werden bis hin zur Automatisierung, so dass die Interaktion zwar objektiv noch komplex ist, für den Nutzer jedoch nur noch geringe Kapazitäten beansprucht, schnell und mit wenigen Fehlern ausgeübt wird (vgl. Sheridan, 2002).

Die Bestimmung der Komplexität eines Systems oder eines HMI ermöglicht einen besseren Vergleich mehrerer Varianten oder Lösungen. Veränderungen, die sich in einer höheren oder niedrigeren Komplexität zeigen, können sichtbar gemacht werden. Die Komplexitätskriterien sind sowohl auf der Arbeitssystemebene als auch auf der Interfaceebene zu finden. Entsprechend spielt Komplexität bei der Gestaltung von Arbeitstätigkeiten und -systemen häufig eine Rolle und wird in vielen Projekten mit berücksichtigt. So erfasst Xing (2004) Informationskomplexität in drei Schritten analog zum Informationsverarbeitungsprozess (z. B. Wickens & Hollands, 2000). Koros et al. (2006) analysieren die Komplexität der Aufgaben von Tower-Fluglotsen durch Interviews und leiten Strategien zum Umgang mit Komplexität ab. Tabelle 4 fasst ausgewählte Kriterien zur Komplexität zusammen.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Kriterien für Komplexität (Auswahl)

	Kriterium	Quelle	Beispiel Arbeitssystem	Beispiel HMI
Umfang des Netzwerks	Anzahl Elemente	Dörner (2003)	Viele beteiligte Personen, viele Informationsquellen	Viele grafische Elemente
	Anzahl möglicher Interaktionen	Xing (2004)	Viele Interaktionsmöglichkeiten und Kommunikationsmittel	Eingaben auf unterschiedliche Weise möglich oder notwendig, unterschiedliche Eingabemittel, verschiedene Gesten
	Informationsdichte	Tullis (1988) Xing (2004)	Viele Informationen und -quellen müssen berücksichtigt werden	Viel Text / Daten pro Bildschirmseite, eine Information repräsentiert mehr Informationen
	Detailgrad		Informationen müssen in hoher Detaillierung berücksichtigt werden	Informationen sind sehr präzise und mit hohem Detailgrad dargestellt
	Logische Tiefe	Bennett (1990) nach Xing (2004)	Eine Handlung setzt sich aus vielen Teilhandlungen zusammen, Hierarchien	Menütiefe, viele Ebenen
Vernetztheit	Viele Verknüpfungen pro Element	Dörner (2003)	Viele Schnittstellen mit anderen Personen, Aufgabe kann nur in Abstimmung mit anderen Personen erfüllt werden	Daten werden von zahlreichen weiteren Systemen genutzt bzw. von diesen erhalten
	starke Abhängigkeit der Elemente	Dörner (2003)	Viele Absprachen und Interaktionen notwendig	Auswahl in einem Feld wirkt sich auf viele andere Felder aus
Dynamik	Viele Veränderungen pro Zeiteinheit	Dörner (2003)	Position und Zustand der Flugzeuge ändert sich schnell	Anzeigehalte wechseln ständig und schnell, kontinuierliche Aufmerksamkeit ist nötig
	Zeitdruck	Dörner (2003)	Hoher Zeitdruck für Entscheidungen	Enge Zeitfenster für Eingaben
	mehrere Informationen gleichzeitig	Dörner (2003)	Mehrere Informationsquellen müssen gleichzeitig berücksichtigt werden	Informationen für Situation werden an unterschiedlichen Stellen dargestellt
	Entwicklungstendenzen müssen berücksichtigt werden	Dörner (2003)	Planung für die nächsten Minuten notwendig, Projektion zukünftiger Zustände	Aktueller Systemzustand muss abgelesen und gleichzeitig zukünftige Zustände abgeleitet werden

	Kriterium	Quelle	Beispiel Arbeitssystem	Beispiel HMI
Intransparenz	Verknüpfungen sind nicht sichtbar	Dörner (2003)	Abhängigkeiten zwischen Personen oder Technik im Arbeitssystem ist dem Nutzer nicht (vollständig) bewusst	Auswirkungen einer Eingabe an einer Stelle auf weitere Systeme sind dem Nutzer nicht bewusst bzw. für ihn nicht sichtbar angezeigt
	Nicht alle Informationen sind zugänglich	Dörner (2003)	Informationsquellen sind z. T. nicht verfügbar, Wissen wird nicht immer weitergegeben	Informationen sind im Menü verborgen oder können vom Nutzer nicht angezeigt werden
	Nur Ausschnitt der Realität abgebildet	Dörner (2003)	Die verfügbaren technischen Systeme bzw. Informationsquellen können nicht alle relevanten Informationen abbilden, sondern treffen eine Auswahl	Ein HMI zeigt nicht alle Informationen (direkt) an, sondern Zusammenfassungen, Näherungen, Mittelwerte, Auswahl von Informationen Informationen nicht durch direkte Sinneseindrücke, sondern medial vermittelt
	Hohe Variabilität der Interaktionen	Xing (2004)	Mehrere Kommunikationsmöglichkeiten, unterschiedliche Mittel werden genutzt	Eingabe und Ausgabe auf mehrere Weisen möglich
Inkonsistenz	Unterschiedliche Elemente und Muster	Xing & Manning, 2005	Heterogenene Zusammensetzung des Teams / Arbeitssystems, unterschiedliche Erfahrungen, Ausbildung, Interessen und Handlungsspielräume Heterogene technische Ausstattung	Heterogenene Gestaltung eines HMI, unterschiedliche Codierungen (Farbe, Formen, ...) und Gestaltungsmittel
	Konkurrierende Anforderungen / Informationen	Dörner (2003)	Anweisungen bzw. Aufgaben widersprechen sich, können nicht alle optimal gelöst werden Informationsquellen widersprechen sich	Informationen auf einem Display widersprechen sich direkt (widersprechende Aussagen) oder indirekt (Aussage widerspricht Gestaltung)
	Schlechte Zusammenfassbarkeit von Merkmalen	Dörner (2003) Crutchfield & Young (1989)	Jeder Beteiligte steht für sich, jede Arbeitsposition im Arbeitssystem ist individuell gestaltet, keine allgemeinen Regelungen vorhanden	Viele unterschiedliche Informationen auf einem Display, unterschiedliche Codierungen (Farbe, Formen), Anordnung nicht logisch

Komplexität von Fluglotsen-Arbeitsplätzen

Der Arbeitsplatz eines Tower-Lotsen enthält viele Kriterien für Komplexität: Die Systemkomplexität ergibt sich durch das heterogene Umfeld mit vielen Informationsquellen, in dem mehrere Prozesse gleichzeitig ablaufen und mitunter ein hoher Zeitdruck herrscht (König et al., 2008a). Der Lotse erhält die Informationen aus unterschiedlichen Quellen, jedoch ist immer nur ein Ausschnitt der Rea-

lität verfügbar, weil Informationen aufbereitet und dann durch technische Systeme vermittelt werden. Jede Handlung hat vielfältige, nicht immer direkt sichtbare Auswirkungen und verändert das Gesamtsystem. Zwischen den beteiligten Arbeitspersonen ist eine starke Kooperation und ständige Abstimmung notwendig (Marti, 1998). Die Informationskomplexität zeigt sich in den unterschiedlichen Informationsquellen, über die der Lotse vor allem über den visuellen, akustischen und haptischen Sinneskanal Informationen aufnimmt. Die visuelle Informationsaufnahme erfolgt größtenteils über die Außensicht (gesamtes Szenario außen) und innerhalb des Towers über die Systeme sowie Kollegen, akustische Informationen erhält er sowohl von außen (Wind, Triebwerke) als auch von innen (Warngeräusche, eigener Funk und Kollegen, Telefonate, allgemeiner Geräuschpegel), haptisches Feedback bietet die Interaktion mit den technischen Geräten. Auch jedes Gerät selbst kann hoch komplex sein, viele Informationen auf engem Raum und in unterschiedlicher Weise darstellen und Informationslücken und -dopplungen aufweisen. Die unterschiedlichen Informationen sind häufig gleichzeitig verfügbar und zu nutzen, und dienen als Grundlage für mitunter weitreichende Entscheidungen. Dafür muss der Lotse auf Erfahrungswissen bzw. früher erworbene Informationen zurückgreifen.

Die Bestimmung der Komplexität im Kontext Flugsicherung ist Ziel zahlreicher Studien. Delahaye und Puechmorel (2000) beschreiben unterschiedliche Ansätze zur Erfassung der aktuellen Komplexität in einem konkreten Raum. Zwei wesentliche Ausrichtungen lassen sich dabei unterscheiden: Die Bewertung aufgrund eines subjektiven Urteils von Lotsen (z. B. Delahaye & Puechmorel, 2000) und aufgrund der dynamischen Dichte als gewichtete Summe aus unterschiedlichen Eigenschaften (Laudeman, Shelden, Branstrom & Brasil, 1998). Delahaye und Puechmorel (2000) stellen jedoch fest, dass beide Ansätze nicht ausreichen, da die Unterschiedlichkeit der Geschwindigkeitsvektoren nicht berücksichtigt wird, und stellt daher eigene Ansätze vor. Koros, Della Rocco, Panjwani, Ingurgio & D'Arcy (2003) identifizierten in einer explorativen Studie 29 Faktoren, welche zur Komplexität der Arbeit von Tower-Fluglotsen und speziell ihres Entscheidungsprozesses beitragen (Systemkomplexität). In einer Feldstudie beurteilten 62 Lotsen von unterschiedlichen Flugplätzen vorgegebene Faktoren, deren Auftretenshäufigkeit und Bedeutung. Komplexität ergibt sich demnach vor allem durch Verkehrsaufkommen an sich, Kreuzungsvorgänge, Einschränkungen der Bahnen, reduzierte Sicht, ungeplante Zwischenfälle, Zeitdruck und administrative Vorgaben. Es wurde festgehalten, dass Tower-Fluglotsen im Vergleich zu anderen Arbeitspositionen aufgrund der engeren räumlichen Bedingungen in dem von ihnen kontrollierten Luftraum weniger Zeit zur Verfügung haben, um den Verkehr zu lenken. In der Folgeuntersuchung wurden Strategien untersucht, welche Lotsen einsetzen, um die Komplexität ihres Arbeitssystems und ihrer Arbeitsaufgaben zu verringern, und welche Informationen sie aus welchen Quellen nutzen (Koros et al., 2006). Als wesentliche

Erkenntnis leiten die Autoren ab, dass alle Informationsquellen des Tower-Fluglotsen aufeinander abgestimmt sein sollten, um die Informationen konsistent, integriert und synchronisiert anzubieten, so dass der Fluglotse keine zusätzlichen Ressourcen zur Datenintegration einsetzen muss.

3.1.4 Fazit zur Aktivität

Ein Ergebnis der ersten Aktivität des menschenzentrierten Vorgehens kann somit eine Beschreibung des Arbeitssystems mit den beteiligten Personen, Arbeitsmitteln und Tätigkeiten sein (vgl. Abb. 8). Sie hilft dabei, die wesentlichen Komponenten bei den folgenden Gestaltungsschritten zu berücksichtigen und kann mit zunehmendem Wissen über das Arbeitssystem weiter verfeinert werden. Die Darstellung ermöglicht zusätzlich eine präzisere Kommunikation im Projektteam sowie mit Anwendern und Auftraggebern, da die einzelnen Bestandteile, ihre Aufgaben und die Zusammenhänge klar benannt werden.

Die Analyse des Nutzungskontext muss besonders sorgfältig vorgenommen werden, wenn seine Komplexität hoch, die Aufgaben und Ziele anspruchsvoll und spezifisch sind. Ein fundiertes Verständnis der Tätigkeiten und Bedingungen in der Flugsicherung ist für das Entwicklungsteam notwendig, um alle relevanten Komponenten in den Anforderungen abzubilden. Eine systemische Betrachtungsweise, z. B. durch eine Arbeitssystemanalyse, hilft bei der Beschreibung der Komponenten und verdeutlicht Zusammenhänge und Systemgrenzen. Eine vollständige Beschreibung des Nutzungskontexts zu Beginn eines Entwicklungsprojekts ist aufgrund der hohen Komplexität, der nicht immer ausreichenden Datenlage sowie der häufig kurzen Laufzeit von Projekten schwierig. Viele Informationen sind zudem spezifisch für einen einzelnen Tower, so dass Erkenntnisse nicht direkt auf weitere Arbeitsplätze übertragen werden können. Neben vorhandenen Projekt- und Forschungsberichten sind daher vor allem die Anwender selbst sowie Experten aus dem Bereich der Flugsicherung wertvolle Informationsquellen und sollten unbedingt eingebunden werden.

3.2 Anforderungen in der Flugsicherung

3.2.1 Ziel der Aktivität

Die zweite Aktivität beinhaltet neben der Dokumentation des Nutzungskontexts die Ableitung von Anforderungen an das interaktive Produkt. Dabei können unterschiedliche Quellen herangezogen werden. Häufig ist eine Integration unterschiedlicher Anforderungen und Perspektiven notwendig.

Als Nutzungsanforderungen im Sinne der DIN EN ISO 9241-210 werden erwünschte Eigenschaften eines Produkts bezeichnet, deren Erfüllung vom Entwickler beabsichtigt werden. Die Anforderungen beschreiben Aussehen und Funktionalität des geplanten Produkts und sind so formuliert, dass ihre Erfüllung überprüft werden kann. Sie können nicht für sich stehen, sondern müssen im Zusammenhang mit der Beschreibung des Nutzungskontexts und den wirtschaftlichen Zielen betrachtet werden. Anforderungen wirken sich nicht nur auf das Produkt aus, sondern können auch organisatorische Änderungen und veränderte Arbeitsweisen zur Folge haben. Je nach Quelle unterscheidet die Norm Anforderungen, welche aus dem Nutzungskontext, aus relevanten Normen, Richtlinien oder sonstigen relevanten Erkenntnissen auf Ergonomie und Benutzungsschnittstellengestaltung, aus dem Bereich der Gebrauchstauglichkeit oder aus organisatorischen Erfordernissen abgeleitet sind.

Für den Kontext Flugsicherung bedeutet dies, dass zahlreiche Quellen zur Bestimmung von Anforderungen berücksichtigt werden könnten, z. B. interne Tätigkeitsbeschreibungen, Arbeitsvorschriften und Prozessbeschreibungen der jeweiligen Domäne (vgl. z. B. Burmeister, 2008), aber auch allgemeine Regeln zur Gestaltung von HMI. Welche Quellen sich für die Entwicklung von HMI in der Flugsicherung eignen, wird im Folgenden beschrieben.

3.2.2 Allgemeine Anforderungen an die Gestaltung von Arbeitssystemen

Ein Teil der Anforderungen lässt sich direkt aus allgemeinen arbeitswissenschaftlichen Gestaltungsempfehlungen ableiten.

Ableitung aus humanitären Prinzipien der Arbeit

Arbeitswissenschaft hat die menschengerechte Gestaltung und Verbesserung von Arbeitsinhalten und -bedingungen sowie die Weiterentwicklung und Förderung der menschlichen Persönlichkeit durch die Arbeitstätigkeit zum Ziel (Schlick et al., 2010). Ulich (2001) stellt das Konzept des Handlungs- bzw. Tätigkeitsspielraums, eine ganzheitliche Betrachtung der Arbeitstätigkeit und die Berücksichtigung von Möglichkeiten der sozialen Interaktion und Autonomie, Lern- und Entwicklungsprozessen in den Mittelpunkt. Die Aufgaben sollten vielfältige Anforderungen an den Menschen stellen und sinnhaft sein sowie Zeitelastizität aufweisen. Hacker (2005) vertritt eine eher globale Betrachtungsweise und fordert lediglich Ausführbarkeit, Schädigungs- und Beeinträchtigungslosigkeit sowie Lern- und Gesundheitsförderlichkeit. Ebenso nennt Rohmert (1973) Ausführbarkeit, Erträglichkeit, Zumutbarkeit und Zufriedenheit als Kriterien.

Ableitung aus den menschlichen Eigenschaften

Kirchner und Baum (1986) leiten Anforderungen für die Gestaltung von Arbeitssystemen direkt aus menschlichen Eigenschaften ab, wie den äußeren Merkmalen (Körpermaße, -gewicht, ...), körper-

lichen Fähigkeiten (Bewegungsmöglichkeiten, Kräfte, mechanische Leistungsfähigkeit, ...), geistigen Fähigkeiten (Informationsverarbeitungsprozess, Aufmerksamkeit, ...) und Interessen (Motivation, Emotion) (vgl. auch Perott, 2009). Ausgangspunkt für die Ableitung von Anforderungen können beispielsweise die von der Hand des Nutzers prinzipiell ausführbaren Positionen und Bewegungen (Gesten) für eine manuelle Eingabe sein. Individuelle Unterschiede durch Alter, Geschlecht, Gesundheitszustand, Kultur, Ausbildung und Erfahrung müssen ebenso berücksichtigt werden wie Ermüdung und die aktuell getragene Kleidung.

Ableitung aus Gesetzen und Verordnungen

Eine Ableitung von Anforderungen ist auch aus Gesetzen und Verordnungen möglich, wie z. B. dem Betriebsverfassungsgesetz (2001), welches eine menschengerechte Gestaltung auf der Basis von gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen fordert (Laurig, 1990, S. 10) oder dem Arbeitssicherheitsgesetz bzw. „Gesetz über Betriebsärzte, Sicherheitsingenieure und andere Fachkräfte für Arbeitssicherheit“ (1973), welches die Forderung nach Unfallverhütung und Arbeitssicherheit enthält. Weitere Quellen sind z. B. die Arbeitsstättenverordnung (2004) und die Bildschirmarbeitsverordnung (1996).

Ableitung aus allgemeinen Normen

Um mit dem HMI nicht zusätzlich zur psychischen Beanspruchung der Lotsen beizutragen, können zudem Anforderungen aus EN ISO 10075-2 (2000) abgeleitet werden, z. B. eine gute Unterscheidbarkeit von Signalen, Redundanz (zum Abgleich von Informationen), das Fördern des Aufbaus von mentalen Modellen (durch Hervorhebung von Zusammenhängen und Wechselwirkungen) sowie eine Verringerung des Zeitdrucks und der benötigten Präzision bei der Eingabe (vgl. Isselmann, 2009).

Ableitung aus spezifischen Guidelines

Der Human Factor Design Standard der Federal Aviation Administration (FAA, 2003; FAA, 2007) gibt präzise und mit Quellen belegte Empfehlungen für die Gestaltung von Systemen in der Flugsicherung. Empfehlungen existieren beispielsweise zur Verwendung von Farben, Symbolen und Formen auf grafischen Benutzungsschnittstellen, zur Interaktion durch direkte Manipulation oder Menüs sowie zu alternativen Eingabegeräten.

Generelle Anforderungen an die Mensch-Computer-Interaktion

Weitere Anforderungen ergeben sich aus allgemeinen Empfehlungen für die Gestaltung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle. Auch diese sind abhängig vom jeweiligen Nutzungskontext, und müssen jeweils auf Anwendbarkeit und Priorität geprüft sowie für den jeweiligen Fall konkretisiert und überprüfbar formuliert werden. Quellen sind zumeist Empfehlungen aus der Software-Ergono-

mie (z. B. Dahm, 2006), Psychologie (z. B. Wandmacher, 1993) und Design (z. B. Stapelkamp, 2007). Dabei kann zwischen Anforderungen, die die Gestaltung eines einzelnen Elements betreffen (Ein- oder Ausgabegerät), Anforderungen an die Position des Elements im Raum sowie Anforderungen an die relative Position zum Nutzer unterschieden werden. Eine Zusammenstellung von allgemeinen Anforderungen an HMI aus unterschiedlichen Quellen bietet Perott (2009).

Anforderungen an ein grafisches HMI für die Flugsicherung sind beispielsweise Reflexionsfreiheit (Dubuisson et al., 2009), Flimmer- und Blendungsfreiheit (FAA, 2007), hohe Auflösung (FAA, 2007), Farbdarstellung (Dubuisson et al., 2009), gute Lesbarkeit (Broadbent, 2000; Dubuisson et al., 2009) und angemessene Informationsdichte (Dubuisson & Eriksen, 2006). Für Bedienelemente wird Genauigkeit, Schnelligkeit der Eingabe, Zugänglichkeit bzw. Erreichbarkeit, Griffestigkeit bzw. Rutschfestigkeit (Kirchner, 1998), eine gute Handhabbarkeit und Funktionsfähigkeit sowie minimal benötigter Kraftaufwand (Kirchner & Baum, 1986, DIN EN ISO 9241-400, 2007) sowie Steuerbarkeit (DIN EN ISO 9241-400, 2007) vorgeschlagen. Die Logik und Zuordnung der Funktionen sollte konsistent und klar (Yeh, 2004) bzw. die Bewegung und Anordnung sinnfällig (Kirchner & Baum, 1986) und die Markierung der Funktionalitäten fehlerfrei sein (Dubuisson & Eriksen, 2007). Weiter spielt die Passung des Bedienelements zur Aufgabe eine Rolle, d. h. die Angemessenheit für Nutzer, Aufgabe und Nutzungsbedingung (DIN EN ISO 9241-400) und keine Behinderung anderer Tätigkeiten (Kirchner & Baum, 1986). Die Wahrnehmung des Nutzers sollte unterstützt und Überforderung vermieden werden, indem relevante Informationen redundant und diskriminierbar dargestellt werden (Schlick et al., 2010). Die mentalen Modelle der Nutzer müssen berücksichtigt werden, z. B. durch Übereinstimmung der Darstellung und Bewegung der Anzeige mit der abgebildeten Umgebung („Ökologische Schnittstellengestaltung“, Schlick et al., 2010, S. 978) und der repräsentierten Variablen („Prinzip des bildlichen Realismus“, Schlick et al., 2010, S. 977). Eine Aufstellung einiger Anforderungen für die Flugsicherung bietet beispielsweise Isselmann (2009).

Die Position des HMI im Raum spielt ebenfalls eine wesentliche Rolle. Aufgrund seines eingeschränkten Gesichtsfeld muss der Mensch seinen Kopf bewegen, um einen größeren räumlichen Bereich visuell wahrzunehmen und alle Objekte im Raum wahrzunehmen. Bei einer Fokussierung auf ein Display folgt daraus, dass Informationen auf Displays außerhalb des Gesichtsfelds nicht wahrgenommen werden können (Hilburn, 2004). Als Anforderung kann daher abgeleitet werden, dass relevante Informationen entweder innerhalb des Gesichtsfelds positioniert werden müssen, oder dem Nutzer ein Hinweis gegeben wird, seinen visuellen Aufmerksamkeitsfokus zu verändern, um diese relevante Information ins Gesichtsfeld zu bringen.

Die Entfernung zwischen Nutzer und HMI spielt ebenfalls eine wesentliche Rolle, da Reize

außerhalb der maximalen Entfernung bzw. unterhalb der Wahrnehmungsschwelle nicht verarbeitet werden können (Schmidt & Schaible, 2006). Dies gilt für das visuelle System (z. B. Helligkeit, Größen) ebenso wie für das akustische (z. B. Lautstärke) und alle weiteren. So sind manuelle Eingaben ohne Werkzeuge nur im Greifraum möglich, das Erkennen eines Punkts nur ab einer Größe von ca. 1 Bogenminute auf der Netzhaut. Zudem benötigt die Akkommodation des Auges auf unterschiedliche Entfernungen Zeit (Schmidt & Schaible, 2006), d. h. Anzeigen, die häufig und schnell hintereinander abgelesen werden, sollten in einer ähnlichen Entfernung zum Betrachter stehen (z. B. Hilburn, 2004). Werden vorwiegend Objekte in großer Entfernung betrachtet, wie z. B. Flugzeuge auf den Roll- und Taxiwegen, wäre eine Empfehlung, auch dazu gehörende Displayinformationen in entsprechender Entfernung anzuzeigen, wie es bereits bei Head-Up-Displays in Fahrzeugen der Fall ist.

3.2.3 Anforderungen aus der Arbeitsaufgabe

Eine weitere wesentliche Quelle für Anforderungen ist die im Nutzungskontext beschriebene Tätigkeit selbst. Denn der Informations- und Handlungsbedarf eines Tower-Fluglotsen ergibt sich direkt aus seinen Arbeitsaufgaben und der Art und Weise, wie er sie erfüllt. Dies schließt mit ein, dass eine Aufgabe an unterschiedlichen Tovern auch unterschiedlich ausgeführt wird, abhängig von den räumlichen Bedingungen, regionalen Besonderheiten und den einzelnen Menschen (Truitt, 2006). Variabilität ergibt sich auch durch sich veränderte Umgebungsbedingungen wie z. B. Wetter, Helligkeit oder Verkehrsdichte. Anforderungen können generell gelten oder auf einen spezifischen Bereich oder Zeitraum beschränkt sein. Zur Ableitung von Anforderungen aus der Arbeitsaufgabe müssen daher mehrere Quellen berücksichtigt und aus ggf. widersprüchliche Anforderungen ein konsistenter Anforderungskatalog erstellt werden.

Anforderungen abgeleitet aus Personalauswahlkriterien für Fluglotsen

Anforderungen können beispielsweise aus den Auswahlkriterien für Fluglotsen abgeleitet werden, da hier versucht wird, Kandidaten mit besten Voraussetzungen für die Tätigkeit auszuwählen und dann möglichst gut auszubilden. Für diesen Prozess müssen die Anforderungen der Fluglotsentätigkeit an den Nutzer bekannt sein. Umgekehrt können aus den Auswahlkriterien die Anforderungen an ein interaktives System abgeleitet werden. Ist beispielsweise vollständiges Farbsehen (Farbtüchtigkeit) Einstellungs- und Beschäftigungsvoraussetzung, kann angenommen werden, dass alle Fluglotsen farbtüchtig sind und eine farbliche Codierung von Informationen auf einem Display ohne Einschränkung möglich ist.

Ableitung aus Tätigkeitsanalysen und Szenarien

Tätigkeitsanalysen haben die umfassende und detaillierte Beschreibung von Tätigkeiten zum Ziel. Dazu werden diese häufig in einzelne Komponenten (Teilaufgaben, Teilziele) bis hin zu einzelnen Informationseinheiten zerlegt. Dies ermöglicht ebenfalls die Bestimmung des Informationsbedarfs eines Nutzers oder der notwendigen Interaktionen mit den technischen Systemen. Grundlage von Tätigkeitsanalysen sind häufig Datenerhebung mittels Beobachtung, Befragung sowie die betriebliche und sonstige Dokumente und Arbeitsanweisungen. Standardisierte Vorgehensweisen beschreiben z. B. Marti (1998) und Kallus et al. (1998).

Eine Studie von Rohmert (1973) untersuchte die psycho-physische Belastung und Beanspruchung von Fluglotsen durch Erfassung der Tätigkeiten durch Beobachtungen sowie Ableitung einer Aufgabenhierarchie (Abbildung 8). Auf der obersten Ebene befindet sich die Unternehmensstrategie, die unteren Ebenen bilden die Fluglotsentätigkeit ab. Eine weitere Detaillierung bis zum Informationsverarbeitungsprozess des einzelnen Lotsen ermöglicht das Ableiten des Informationsbedarfs. Die Aufgabenhierarchie zeigt, dass sich Veränderungen der Organisation (z. B. Besetzung) auf die Tätigkeit auswirken. Dabei wird zwischen sichtbaren und nicht sichtbaren Tätigkeiten unterschieden, um auch nicht direkt beobachtbare Tätigkeiten zu berücksichtigen, sowie das „kognitiven Niveau“ der Tätigkeiten beschrieben.

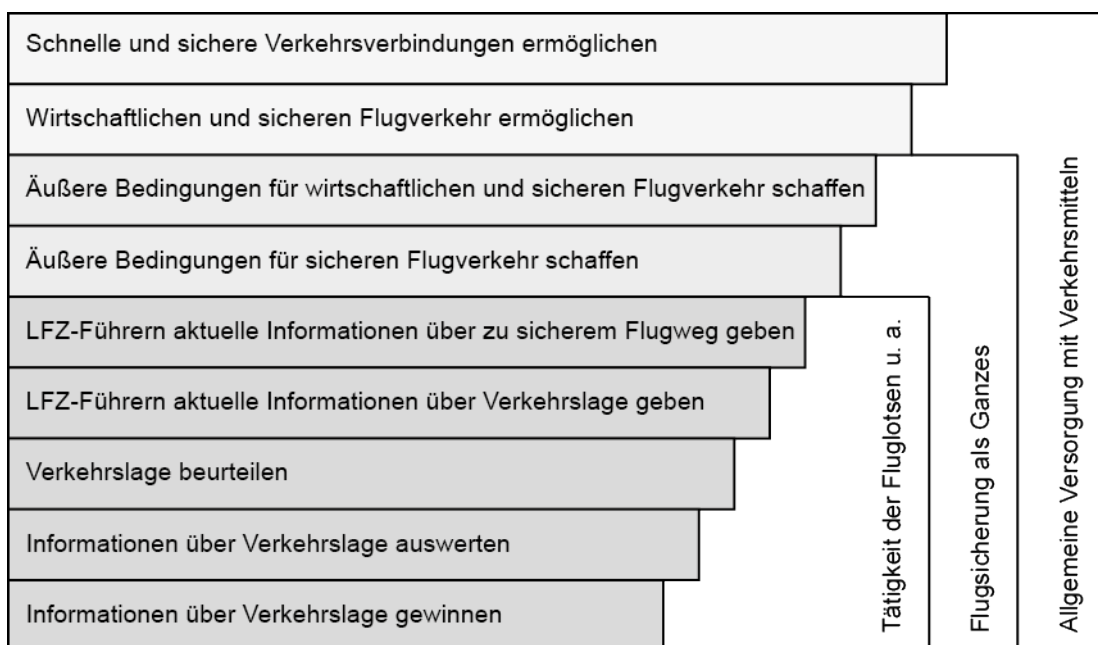


Abbildung 8: Aufgabenhierarchie nach Rohmert (1973, S. 14)

Perott et al. (2011) beschreiben die Ableitung von Anforderungen durch Szenarien, welche reale Probleme und Herausforderungen der Nutzer sammeln und aufbereitet darstellen. Diese ermöglichen Nutzern in Workshops, sich in die jeweilige Situation hineinzusetzen, gemeinsam Lösungen zu entwickeln sowie Anforderungen an die Gestaltung ihrer Arbeitssituation abzuleiten. Da reale Probleme aus dem Arbeitsalltag die Basis bildeten, wurde eine hohe Motivation der Teilnehmer angenommen. Insbesondere bei komplexen, schwer erfassbaren Nutzungskontexten eigneten sich Szenarien, um Daten direkt aus dem Nutzungskontext zu gewinnen und diesen dann zu beschreiben (Tavanti, 2007).

Betriebliche Dokumente

Eine weitere Quelle sind betriebliche Dokumente mit Vorgaben zur Arbeitsaufgabe. So wird die Arbeitsaufgabe des Tower-Fluglotsen in der Betriebsanweisung Flugverkehrskontrolle (DFS, 2008) verbindlich beschrieben und damit die benötigten Informationen und Systemkomponenten festgelegt. Auch informelle Dokumente wie interne Absprachen könnten eingesetzt werden.

Forschungsprojekte

Anforderungen an die Gestaltung von HMI können auch aus früheren Studien abgeleitet werden. Je ähnlicher die jeweiligen Nutzungskontexte sind, desto leichter lassen sich die Anforderungen übertragen.

Die Studie „Integrated Tower Working Position“ (Dubuisson & Eriksen, 2006) beschäftigt sich mit der Integration von Systemen, z. B. Bodenlageradar und Flugfeldbefeuerungs-Steuerung, um einer höheren Homogenität innerhalb eines Towers zu gewährleisten. Das integrierte System soll zur Bearbeitung mehrerer Lotsenaufgaben geeignet sein und eine Erweiterung durch neue Funktionalitäten ermöglichen. Der Projektbericht beschreibt u. a. Anforderungen an die Gestaltung, wie beispielsweise Reflexionsfreiheit, Lesbarkeit und angemessene Informationsdichte (Dubuisson & Eriksen, 2006). Yeh (2004) nennt Anforderungen an ein Display mit einer Flughafen-Karte, darunter eine konsistente Logik und klare Zuordnung von Bedienelementen und Funktionen. Broadbent (2000) leitete aus experimentellen Stufen eine Methodologie und Anforderungen an Schriften für zukünftige Systeme in der Flugsicherung ab, wie beispielsweise eine ausreichend hohe Auflösung zur guten Lesbarkeit von Informationen. Ebenfalls untersucht wurden die Informationsverarbeitungsprozesse der Lotsen im Umgang mit Text auf dem Bildschirm und die Berücksichtigung der mentalen Informationsrepräsentation der Lotsen als Anforderung.

Auf der Basis von Beobachtungen und Beobachtungsinterviews am Tower Frankfurt wurde im Projekt Wettbewerbsfähiger Flughafen (z. B. Bergner, König, Ebert & Hofmann, 2008) Arbeitsabläufe inkl. Blickverhalten der Lotsen sowie Nutzungsintensität und -reihenfolge der vorhandenen

Arbeitsmittel dokumentiert und daraus der Informationsbedarf für einzelne Phasen des An- und Abflugs sowie die optimale räumliche und zeitliche Anordnung der Informationen abgeleitet. Ebenfalls kann abgeleitet werden, welche Aufmerksamkeitsschwerpunkte der Lotse hat und an welcher Stelle damit relevante und zeitkritische Informationen wie z. B. Warnungen mit höherer Wahrscheinlichkeit gesehen werden. Eine Studie von Bruder und Leonhardt (2010) zu typischen Gestaltungsproblemen an Flugsicherungsarbeitsplätzen weist auf Probleme durch uneinheitliche Informationsdarstellungen und ungeeignete Gestaltung von Schaltflächen hin. Auch sind die HMI häufig nicht an die realen, teilweise ungünstigen Umgebungsbedingungen angepasst. Das Resultat dieser suboptimalen Bedingungen ist ein erhöhter Aufmerksamkeitsbedarf für die Bedienung der Systeme. Außerdem wurde festgestellt, dass die Auswirkungen von Entscheidungen in frühen Phasen des Entwicklungsprozesse den Entwicklern nicht immer bewusst ist bzw. nur schwer abgeschätzt werden kann und ein Unterstützungsbedarf besteht.

Aus Ergebnissen wie diesen können nun Anforderungen an die Gestaltung von HMI abgeleitet werden, wie beispielsweise eine bessere Anpassung von Umgebungsbedingungen und Arbeitsplatzgestaltung, eine konsistente, homogene Informationsdarstellung sowie geeignete Gestaltung von Ein- und Ausgaben. Anforderungen an den Entwicklungsprozess sind ebenfalls möglich, wie beispielsweise eine bessere Unterstützung von Entwicklern insbesondere in langjährigen Entwicklungsprozessen, um die Auswirkungen frühzeitiger Entscheidungen auf die Gestaltungsspielräume zu verdeutlichen und Entscheidungen zu erleichtern.

3.2.4 Spezifische Anforderungen an HMI in der Flugsicherung

Speziell für die Flugsicherung werden als Ziele Sicherheit, Pünktlichkeit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit angeführt (DFS, 2012), woraus ebenfalls spezifische Anforderungen an die Gestaltung von HMI abgeleitet werden können.

Sicherheit

Sicherheit als Ziel beinhaltet die Frage, inwieweit die Gestaltung unbefugte oder unbeabsichtigte Eingaben sowie Fehlbedienungen berücksichtigen muss. Dabei sind nach Wickens und Hollands (2000) Fehler auf unterschiedlicher Ebene zu berücksichtigen, wie z. B. Mistakes (fehlerhafte Entscheidung für die konkrete Situation getroffen), Slips (richtige Entscheidung wird fehlerhaft ausgeführt), Lapses (Handlungsschritte oder gesamte Handlung wird überhaupt nicht ausgeführt) und Mode Errors (eigentlich richtiges Verhalten wird im unangemessenen Kontext ausgeführt; vgl. auch König, Seidel, Röbig & Bruder, 2011). Zur Sicherheit tragen die Entscheidungen der Lotsen bei, welche mitunter auf der Basis unvollständiger Informationen getroffen werden müssen (Koros et

al., 2003). Eine vollständige und situationsgerechte Darstellung der benötigten Informationen sowie ggf. Redundanz kann die Sicherheit fördern. Sicherheitsabfragen können bei kritischen Entscheidungen und Eingaben Fehler vermeiden, führen jedoch andererseits zu einem höheren Bedieneraufwand und ggf. geringe Akzeptanz beim Nutzer.

In den letzten Jahren hat sich die Perspektive auf Risiken und Sicherheit stark verändert. Während früher der Fokus stark auf den vermeintlichen Fehlhandlungen einzelner Menschen lag, beinhaltet das heutige Verständnis einen umfassenderen Blick und fokussiert die Resilience, d. h. die Fähigkeit des Gesamtsystems, mit Störungen umzugehen (z. B. Dekker, 2006; Wrethall, 2006). Human Error ist demnach nicht die Ursache von Sicherheitsproblemen, sondern Symptom eines fehlerhaften Gesamtsystems, in dem der Mensch eine aus seiner Sicht angemessene Entscheidung getroffen hat, die sich dann aus Systemsicht als nicht geeignet herausgestellt hat (Isaac et al., 2002b). Sicherheit entsteht dementsprechend nicht aus der Abwesenheit von Risiko oder Fehlbedienungen, sondern aus einem umfassenden Verständnis des Gesamtsystems, des Fehlers und seiner zugrunde liegenden Faktoren. Handlungsmöglichkeiten bieten beispielsweise eine stärkere Automatisierung und technischer Assistenz, welche jedoch selbst neue Fehlermöglichkeiten beinhalten. Zur Fehleranalyse im Bereich der Flugsicherung wurde von Eurocontrol in Kooperation mit der FAA die Methode „HERA“ entwickelt (z. B. Pounds & Isaac, 2002). Fehler werden dabei bis hin zur Ebene der Informationsverarbeitung aufgeschlüsselt. Basierend auf diesen Erkenntnissen können dann u. a. Anforderungen an die Gestaltung des Arbeitsplatzes abgeleitet werden (vgl. z. B. Perott et al., 2012). Eine Untersuchung von Zwischenfällen ergab beispielsweise, dass häufig eine fehlerhafte visuelle Wahrnehmung der dargestellten Informationen zu Fehlern beiträgt, was durch eine günstigere Gestaltung der Arbeitsmitteln möglicherweise nicht mehr der Fall wäre.

Usability (Gebrauchstauglichkeit)

Anforderungen bzgl. der Usability sind im Kontext Flugsicherung ebenfalls relevant, müssen jedoch inhaltlich sowie von ihrer Priorisierung angepasst werden, da die Kriterien der Usability hier unterschiedlich relevant sind. Die Erwartungskonformität als Anpassung an die Kenntnisse und Erfahrungen des Nutzers (DIN EN ISO 9241-110, 2008) erleichtert den Anwendern den Wechsel zwischen mehreren HMI am Arbeitsplatz, indem die Bedienung mehrerer HMI konsistent erfolgt oder eine schon bekannte Symbolik auch für das neu entwickelte System weiter verwendet wird. So können erworbene Bedienstrategien weiter verwendet bzw. vertraute Gestaltungsprinzipien wiedergefunden werden, so dass subjektiv eine höhere Sicherheit erlebt und weniger irrtümliche Bedienungen getätigt werden. Dagegen spielt die Lernförderlichkeit eines HMI (DIN EN ISO 9241-110) in der Flugsicherung eine geringere Rolle als z. B. in Büroanwendungen, da es sich bei den Nutzern um gut ausgebildete, mit dem System trainierte Experten handelt, welche mindestens die Standardfunk-

tionen häufig nutzen und entsprechend geübt sind. Die Individualisierbarkeit eines HMI wird in der Flugsicherung teilweise abgelehnt, da die Nutzer möglicherweise eine ungeeignete Darstellung wählen und der Wechsel zwischen zwei Anwendern erschwert wird. Jedoch kann sie zu höherer Zufriedenheit der Anwender führen und daher für einige HMI sinnvoll sein (vgl. Röbig et al., 2010a). Für alle Maße der Usability gilt, dass eine Kombination von objektiven und subjektiven Maßen notwendig ist, da die Bestimmung von Effektivität und Effizienz in komplexen Systemen schwierig und insbesondere in frühen Projektstadien schwer abzuschätzen ist (vgl. z. B. Röbig et al., 2010a).

Automatisierung

Als Automatisierung wird die vollständige oder teilweise Ausführung von Aufgaben durch das technische Teilsystem ohne direkte Kontrolle durch den Nutzer bezeichnet (Wickens et al., 1997; Sheridan, 2002). Die Funktionsallokation als Verteilung der jeweiligen Aufgaben von menschlichem und technischen Teilsystem kann dabei auf unterschiedliche Weise geschehen, z. B. nach den jeweiligen Kompetenzen (Fitts, 1951), aus der Perspektive des Menschen oder optimiert für den Bedarf der technischen Komponente. Je nach Aufgabenverteilung unterscheidet Sheridan (2002) acht Automatisierungsgrade. Das Verhältnis zwischen Mensch und Maschine kann hierbei unterschiedliche Formen annehmen, wie z. B. komplementär (Aufgaben ergänzen sich, Hopkin, 1995), redundant (Aufgaben werden zweifach besetzt), austauschbar (Aufgaben können von beiden übernommen werden), konkurrierend (Mensch und Maschine streben die gleichen Aufgaben an) oder unterstützend (Mensch greift bei technischen Fehlfunktionen bzw. Maschine ein). Eine Automatisierung von Teilaufgaben kann den Nutzer von Routinetätigkeiten oder Nebentätigkeiten entlasten und Fehleingaben vermeiden (z. B. Sheridan, 2002; Wickens et al., 1997).

Für die Flugsicherung lässt sich eine Zunahme der automatisierten Komponenten feststellen (Köper, 2001), z. B. durch Data-Link-Systeme, automatische Warnfunktionen oder auch Elektronische Flugstreifen (Truitt, 2006). Kontrovers diskutiert wird die Frage der Verantwortung bei Fehlern des technischen Teilsystems (Hopkin, 1998). Auf menschlicher Seite kann Automatisierung dazu führen, dass dem Nutzer diese Routinetätigkeiten nicht mehr vertraut sind und ihm die Übung dafür fehlt, falls er sie doch noch gelegentlich ausführen muss, bzw. er ein System überwachen muss, welches ihn eigentlich ersetzen sollte (Ironies of Automation, z. B. Bainbridge, 1983; Kluwe, 2008). Die Tätigkeit des Nutzers umfasst bei zunehmender Automatisierung stärker Überwachungs- statt Handlungsaufgaben, System- und Bedienwissen wird nur noch unzureichend aufgebaut (Kluwe, 2008, Hopkin, 1998). Zudem wird angenommen, dass Informationen aus automatisierten Systeme schlechter erinnert werden, da sie nicht selbst erarbeitet wurden (Generierungseffekt, vgl. Kluwe, 2008). Blutner et al. (2009) stellen eine veränderte Rolle des Nutzers vom Operateur zum Überwacher fest und befürchtet dadurch verringerte Wachsamkeit (Vigilanz), geringeres Situations-

bewusstsein und höheres Self Complacency (Selbstzufriedenheit mit dem System). Diese Probleme können zu einer höheren Fehlerrate bei der Bedienung führen, Unterforderung sowie mangelnde Akzeptanz durch den Nutzer verursachen (z. B. Wickens et al., 1997). Die Komplexität von Systemen kann durch Automatisierung möglicherweise besser beherrscht werden, andererseits kann die Automatisierung selbst zu einer höheren Informations- und Bedienkomplexität führen, wenn z. B. zwei Modi (manuell und automatisiert) realisiert werden müssen, und die Entscheidung, zu welchem Zeitpunkt und in welchem Umfang Funktionen vom Nutzer übernommen und manuell gesteuert werden, ist für Nutzer schwer zu treffen. Ein weiteres Problem ist die Übernahme der Kontrolle, da häufig in schwierigen Situationen eine manuelle Kontrolle begonnen wird, wenn der Nutzer den bisherigen Verlauf und den aktuellen Systemstatus zu wenig kennt (z. B. Kluwe, 2008). Langfristig kann sich, abhängig von den Erfahrungen der Nutzer mit dem automatisierten System, Misstrauen (bei negativer Erfahrung) oder umgekehrt eine hohe Automationsgläubigkeit (bei positiver Erfahrung) entwickeln. Beides führt dazu, dass die Möglichkeiten und Zuverlässigkeit des automatisierten Systems nicht mehr objektiv eingeschätzt werden kann und fehlerhafte Entscheidungen getroffen werden (z. B. Hopkin, 1998). Truitt (2006) ordnet vorhandene Forschung zwei Perspektiven zu: Die Cognitive Resource Hypothesis vertritt die Ansicht, dass die Automatisierung von Nebentätigkeiten freie Ressourcen für die wesentlichen Aufgaben schafft und daher nützlich ist, während die Interaction Hypothesis das tatsächliche Handeln (physical interaction) des Nutzers als notwendig für Gedächtnisprozesse und Situation Awareness betrachtet.

Der Grad der Automatisierung muss in den Anforderungen beschrieben werden, z. B. durch Definition der jeweiligen Aufgaben von Mensch und technischem Teilsystem, durch Beschreibung der unterschiedlichen Modi und der Übergabebedingungen und -prozesse der Verantwortlichkeiten. Diese Aufteilung kann fest oder auch flexibel gestaltet werden. Auch muss geklärt werden, wie die Vigilanz der Nutzer aufrechterhalten werden kann, so dass sie jederzeit bei Bedarf eingreifen und Aufgaben übernehmen können (vgl. auch Sarter & Woods, 1995).

3.2.5 Systematisierung von Anforderungen

Die Zusammenfassung und Systematisierung mehrerer Anforderungen in einen umfassenden Anforderungskatalog bzw. eine übersichtliche und nutzbare Anforderungsliste ist notwendig und kann auf unterschiedliche Weisen umgesetzt werden (z. B. Ponn & Lindemann, 2008). Einen Vorschlag speziell für Anforderungen an technische Systeme in der Flugsicherung macht Perott (2009) mit einer Unterscheidung zwischen Anforderungen an die technologische Umgebung (physikalische, chemische und soziale Umgebung), anthropometrische (statische und dynamische Muskularbeit), informatorische (Anzeigen, Stellteile, Software), organisatorische (Arbeitsinhalt,

-verteilung,-zeitregelung, arbeitsstrukturelle und Anforderungen an die Arbeitsbewertung und das Entgelt) und gesellschaftliche Anforderungen. Für die meisten Anforderungsgruppen werden konkrete Anforderungen auf der Basis gesicherter arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse beschrieben. Dabei wird empfohlen, nur konsensfähige Anforderungen zu verwenden, um belastbare Argumente für die Gestaltung zu erhalten. Allerdings fehlen für einige Bereiche fundierte Erkenntnisse, so dass hier keine Anforderungen definiert werden können. Eine Verknüpfung von technischen Funktionen und Anforderungen mittels einer Matrix stellen Galvao und Sato (2005) vor

3.2.6 Konflikte zwischen Anforderungen

Da nicht alle Anforderungen gleich spezifisch und relevant sind, wird häufig eine Abstufung vorgenommen, z. B. durch eine Unterscheidung von Muss-, Sollte-, und Kann-Anforderungen (vgl. Bruder & Leonhardt, 2010) bzw. Forderungen, Wünsche und Mindest- bzw. Höchstforderungen (Kirchner & Baum, 1986). Eine weitere Unterscheidung berücksichtigt, ob ein konkreter Wert angestrebt wird oder ein Wertebereich, minimaler oder maximaler Wert (Ponn & Lindemann, 2008). Beck (1999, nach Memmel et al., 2007, S. 179) nennt zur Einordnung die drei Kategorien „required – do first, desired – do if time, deferred – do next time“.

Sofern Anforderungen eher allgemein gehalten sind, können sie leicht den verschiedenen Quellen entnommen und zu einem gemeinsamen Anforderungskatalog integriert werden. Probleme treten auf, wenn konkrete Anforderungen innerhalb einer Quelle oder zwischen Quellen widersprüchlich sind oder die Erfüllung einer Anforderung die Erfüllung einer anderen Anforderung behindert (Ponn & Lindemann, 2008; Bruder & Leonhardt, 2010). Ersteres ist z. B. der Fall, wenn eine Quelle die Verwendung von Farben auf einem Display fordert, eine weitere, ebenso gültige Quelle, dieses aber ausschließt. In diesem Fall muss entschieden werden, welche Anforderungen aufgrund geringeren Fundierung, Relevanz, höherem Alter oder geringerer Spezifität zurückgestellt wird, und welche priorisiert werden (vgl. Perott, 2009). Gegenseitige Behinderung ergibt sich z. B. durch Kriterien wie Sicherheit und Komfort. So sind Eingaben durch einen Klick insbesondere bei häufiger Ausführung komfortabel für den Nutzer, allerdings besteht die Gefahr von Fehlbedienungen durch versehentliche Eingaben (vgl. S-L-K-Raum, Landau, 2005). Ein weiteres Beispiel für konkurrierende Anforderungen ist die Definition von Schriftgrößen. So gilt für die Wahl einer geeigneten Schriftgröße an Bildschirmen einmal die Bildschirmarbeitsverordnung (1996), welche den Sehabstand des Nutzers und die Schrifthöhe bzw. den Sehwinkel berücksichtigt und bei der Verwendung von Funktionssoftware (Betriebssystem, Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, ...) gilt. Sie berücksichtigt jedoch nicht den Einfluss der Beleuchtungsbedingungen auf die Lesbarkeit, den Kontrast zwischen Schrift und Hintergrund (z. B. Stapelkamp, 2007) sowie Reflexionen auf dem

Bildschirm (vgl. Hennrich, Schweda & Kulhei, 2007). Hinzu kommt, dass der Lotse dem Display jeweils nur kurz seine Aufmerksamkeit widmen kann, da er mehrere Informationsquellen kontinuierlich überwachen muss, so dass als Konsequenz muss die Definition einer minimalen Schriftgröße ggf. durch Tests im jeweiligen Nutzungskontext korrigiert werden muss. Diese Zielkonflikte müssen für jeden Fall individuell gelöst werden (z. B. Perott, 2009, Ponn & Lindemann, 2008). Der Nutzungskontext, u. a. die Ziele und Fähigkeiten der zukünftigen Nutzer, spielt hier eine wesentliche Rolle (vgl. Sarodnick & Brau, 2006). Die Festlegung auf eine konkrete Technologie oder einen bestimmten Hersteller bei der Definition von Nutzungsanforderungen bedeutet häufig eine Einschränkung für zukünftige Entwicklungen, da die entwickelten HMI an die jeweilige Techniklösung angepasst sind und sich nicht unbedingt auf andere Lösungen portieren lassen. In gleicher Weise bestimmt die vorhandene Technologie den Fokus der Entwickler, wenn sie als Standard vorausgesetzt wird und alternative Ansätze weniger berücksichtigt werden. Diese Locked-In-Problematik kann die Entwicklung von HMI stark beeinflussen und dazu führen, dass auch einzelne Anforderungen zukünftige Entwicklungen determinieren (z. B. Wickens et al., 1997) bzw. Innovationen verhindert werden.

3.2.7 Fazit zur Aktivität

Die Analyse und Festlegung der Nutzungsanforderungen als zweite Aktivität im Prozess kann aus unterschiedlichen Perspektiven durchgeführt werden, welche zu unterschiedlichen Anforderungen führen. Insbesondere bei schwer einzuordnenden Arbeitsplätzen (Büroarbeitsplatz vs. Leitstand), strengen betrieblichen Vorgaben sowie einer Vielzahl von Anforderungen kann ein konsistenter Anforderungskatalog schwierig sein. Dies ist im Kontext Flugsicherung wahrscheinlich, da hier Empfehlungen für unterschiedliche, jedoch heterogene Arbeitsplätze vorliegen, welche nur schwer übertragbar sind. Bei konkurrierenden bzw. widersprüchlichen Anforderungen ist eine Systematisierung, Priorisierung und ggf. bewusstes Ausschließen von Anforderungen notwendig. Sind keine Empfehlungen verfügbar bzw. sind die verfügbaren widersprüchlich, müssen Daten experimentell erhoben werden, um eine solide Basis für die Gestaltung zu erlangen.

Die einzelnen Anforderungen sollten nachvollziehbar sein und auf ihre Quelle verweisen. Auf diese Weise kann bei der Entwicklung des HMI besser abgeschätzt werden, welche Bedeutung die jeweilige Anforderung besitzt, und welche Einschränkungen möglicherweise notwendig sind, da die Anforderung eigentlich für einen anderen Nutzungskontext oder ein anderes Produkt aufgestellt wurde. Weiter ist eine präzise Beschreibung notwendig, welche eine Überprüfung der Anforderungserfüllung erlaubt, sowie eine geeignete Dokumentation, um die Anforderungen den Entwicklern jederzeit leicht zugänglich zu machen und Anpassungen festzuhalten.

3.3 Gestaltung von HMI

3.3.1 Ziel der Aktivität

In der dritten Prozessphase steht die Gestaltung und Umsetzung des HMI im Mittelpunkt. Die Grenzen der Gestaltung werden durch die festgelegten Anforderungen bestimmt. Sie sind jedoch im Allgemeinen lösungsneutral formuliert, erst in der Gestaltungsphase werden Lösungen festgelegt und evtl. auch wieder verworfen. Dementsprechend müssen im Rahmen dieser Aktivität drei Themen betrachtet werden: Zunächst soll das allgemeine Vorgehen festgelegt werden, d. h. in welchen Arbeitsschritten und mit welchen Methoden (Gestaltungsmethodik). Weiter muss die Art des HMI bestimmt werden und damit, welche technische Komponenten sich zur Anforderungserfüllung und welche Freiheitsgrade möglich sind. Aussehen und Funktionalität werden ebenso bestimmt wie der Umfang und die Breite der Gestaltung sowie die Form der Dokumentation und Präsentation. Aus diesen Entscheidungen ergibt sich das Repertoire an möglichen Gestaltungsmitteln.

3.3.2 Gestaltungsmethodik

Auch wenn die Aufgabe der Gestaltung schnell dem Designer zugesprochen wird, sind doch häufig weitere Kompetenzen notwendig, z. B. die Umsetzung eines Entwurfs in einen Prototypen oder die Anpassung des Informationsbedarfs an die aktuell verfügbaren kognitiven Ressourcen des Nutzers. Jede Disziplin bringt dabei ihre spezifischen Methoden mit, greift aber auch auf gemeinsame Methoden zurück. In multidisziplinären Teams sind zudem Begriffsbestimmungen notwendig, z. B. was unter „Konzept“, „Entwurf“ oder „Prototyp“ verstanden wird. Die zukünftigen Nutzer können bei der Gestaltung beteiligt werden und eigene Vorschläge entwickeln bzw. Verbesserungsvorschläge für bestehende Systeme erarbeiten.

Methoden aus den Disziplinen

Lawson (2005, S. 37) leitet aus unterschiedlichen Quellen ein typisches Vorgehen von Designern in drei Schritten ab, welche iteriert werden. Auf die Analysephase (Analysis) mit Exploration von Beziehungen, Mustern, Anforderungen und Zielen sowie Problemstrukturierung folgt eine Synthese (Synthesis), in welcher Lösungen entwickelt werden. In der dritten Phase erfolgt eine kritische Evaluation (Appraisal) in Form eines Vergleichs der Lösung mit den zuvor formulierten Zielen. In der Realität werden diese Schritte jedoch häufig parallel bearbeitet, im Sinne eines „simultaneous learning about the nature of the problem and the range of possible solutions“ (S. 44), d. h. eine Vermischung von Problemanalyse und -lösungsversuchen in einem Aushandlungsprozess und einer allmählichen Annäherung an die finale Lösung. Dies wird u. a. damit erklärt, dass es Menschen leichter fällt, einen Bedarf anhand konkreter Lösungsvorschläge zu formulieren anstatt als lösungs-

neutrale Anforderungen. Lawson weist außerdem darauf hin, dass die Entwicklung und Bewertung von Anforderungen und Lösungsansätzen nicht allein durch reines Nachdenken möglich sind, sondern mitunter eine probeweise Umsetzung erfordern, um die Konsequenzen der unterschiedlichen Ansätze besser abschätzen zu können. Der kreative Prozess selbst kann mit den fünf Phasen „first insight“, „preparation“, „incubation“, „illumination“ und „verification“ beschrieben werden (Kneller, 1965, zitiert nach Lawson, 2005), welche unterschiedliche starken kognitiven Einsatz erfordern. Während beispielsweise die Präparationsphase eine aktive Suche nach Problemlösungen beinhaltet, bezeichnet die Inkubation den Effekt einer unbewussten Lösungsentwicklung, während auf bewusster Ebene andere Themen bearbeitet werden. Weitere Vorgehensprinzipien aus dem Design nennt z. B. Stapelkamp (2007). Das Vorgehen aus der Sicht von Ingenieuren beschreiben beispielsweise Pahl et al. (2007). Neben den grundlegenden Prinzipien wie Analyse, Abstraktion und Synthese werden Methoden zur Produktplanung, Lösungssuche und -beurteilung beschrieben, wie beispielsweise Analogiebetrachtungen, systematische Untersuchung des physikalischen Zusammenhangs und systematische Kombination von Teillösungen als eher systematische und Brainstorming, 635 und Delphi-Methode als eher intuitive Ansätze. Auch der Ansatz des Design Thinkings stellt ein großes Methodenrepertoire zur Verfügung (z. B. HCD Connect, 2012) zur Analyse von Anforderungen sowie das Entwickeln und Umsetzen von Lösungsansätzen. Kreativmethoden (z. B. Brunner, 2008; Beckhaus, Brugger & Wolter, 2010) werden eingesetzt, um den Lösungsraum auszuloten. Weiter werden im Allgemeinen Skizzen und Zeichnungen erstellt und Prototypen erstellt. Das Skizzieren als Methode kann dabei wesentliche Vorteile gegenüber der direkten Umsetzung in Software wie z. B. CAD haben, da Denkfehler schnell erkannt werden und die Externalisierung von Informationen das Arbeitsgedächtnis entlastet (Schütze & Ulbricht, 2006). Während zu Beginn eher Konzepte entwickelt werden, nehmen Detailgrad und Funktionstiefe im Prozessverlauf im Allgemeinen zu.

Ebenenmodell

Die Gestaltung bewegt sich auf mehreren Ebenen, welche Wandke, Oed, Metzker, van Ballegooy und Nitschke (2001) basierend auf Moran (1981) in einem Ebenenmodell zusammenfassen (Abbildung 9). Das Modell erlaubt damit eine Systematisierung des Vorgehens und das Einordnen einzelner Tätigkeiten und HMI-Eigenschaften. Die Gestaltung eines User Interfaces kann bottom-up (beginnend bei den physikalischen bzw. technischen Voraussetzungen) und top-down (beginnend bei allgemeingültigen Vorschlägen bzw. der konkreten Aufgabe). Unterstützung ist auf beiden Wegen bzw. auf allen Ebenen möglich. Sie fällt auf den unteren Ebenen leichter, da es dort anwendbare Gestaltungsregeln gibt, während auf den oberen Ebenen zunächst Aufgaben, Benutzer oder der Grad der Assistenz definiert werden müssen.

Aufgabenebene	Funktionsallokation, Teilaufgaben
Semantische Ebene	Systemobjekte und -operationen, Metaphern
Syntaktische Ebene	Regeln zum Anwenden von Operationen
Interaktionsebene	Merkmale der Interaktion
Medienebene	Modalitäten des Informationsaustauschs
Räumliche Ebene	Formate der Informationsausgabe und -eingabe
Kodierungsebene	Zeichen, Symbole, Icons, ...
Hardware-Ebene	Ein- und Ausgabegeräte

Abbildung 9: Ebenenmodell der User Interface Gestaltung (angepasst nach Wandke et al., 2001)

Integration der Nutzer in den Gestaltungsprozess

Auch Anwender können zum Gestaltungsprozess beitragen, indem sie eigene Lösungsansätze entwickeln oder die des Projektteams mit umsetzen. Während kreative Prozesse vor allem entstehen, wenn mehr parallel und zirkulär statt fokussiert gedacht wird (Csikszentmihalyi, 1997, vgl. auch Röbig et al., 2010a), gehen Anwender jedoch häufig von ihren bisherigen Erfahrungen und schon bekannten Systemen und Darstellungen aus und entwickeln nur begrenzt neuartige Ideen (vgl. Kapitel 2.2.6). Besonders das spielerische Ausprobieren mit Elementen und Konzepten (Brunner, 2008) bzw. das divergierende Denken fällt mitunter schwer, wenn sie eher eine konkrete Lösung für ihr Problem bzw. ihre Arbeitstätigkeit suchen. Bei Beteiligung von Anwendern an der Gestaltung können Kreativ-Methoden die Aufmerksamkeit von den konkreten Zielen ablenken und die Entwicklung innovativer Lösungsideen und Varianten unterstützen (z. B. Brunner, 2008, Beckhaus, Brugger & Wolter, 2010).

Dokumentation

Die Ergebnisse dieser Phase sind besonders leicht dokumentier- und sichtbar, insbesondere wenn sie in Form von Skizzen, Zeichnungen, CAD-Modellen oder sogar Prototypen festgehalten werden. Zur Gestaltung gehört die Umsetzung des Entwurfs in Prototypen, so dass in der folgenden Phase eine Evaluation möglich ist.

3.3.3 Arten von HMI

Ziel eines HMI

Als Interface oder Human-Machine-Interface (HMI) wird eine Benutzungsschnittstelle bezeichnet, welche einem Anwender Informationen anzeigt bzw. ihm Eingaben ermöglicht, Verhalten auslöst und dynamisch darauf reagiert (vgl. Stapelkamp, 2007), so dass HMI und Interaktion als zusammengehörig betrachtet werden müssen (Oltersdorf, 2007). Das Interface-Design beinhaltet die Definition, Steuerung und Ermöglichung des Dialogs zwischen Anwender und Hard- bzw. Software (Stapelkamp, 2007) und ist immer dann notwendig, wenn die dazugehörige Größe nicht direkt für den Menschen wahrnehmbar ist (Cushman & Rosenberg, 1991), z. B. weil die räumliche Entfernung zu groß ist, die Veränderungen zu schnell passieren oder die Größe mit den menschlichen Sinnen nicht vollständig wahrnehmbar ist, z. B. die zeitlichen Abstände von Flugzeugen im Landeanflug. Doch auch sinnlich wahrnehmbare Größen können Inhalt eines HMI sein, um beispielsweise den persönlichen Eindruck eines Nutzers zu bestätigen, wie z. B. die Position eines Flugzeugs auf dem Taxiway.

Beschreibung, Kategoriensysteme

Ein HMI kann auf unterschiedliche Arten beschrieben und realisiert werden. Die hohe Zahl an Möglichkeiten, Varianten und Kombinationen erschwert eine einheitliche Systematisierung. Um jedoch Gestaltungslösung innerhalb eines Projekts oder zwischen Projekten effizient vergleichen zu können und alternative Lösungsmöglichkeiten zu erkennen, ist eine Einordnung notwendig.

Eine Systematisierung von HMI kann beispielsweise nach dem Darstellungsort (Rühmann, 1993; Johannsen, 1993), der Dimensionalität der Darstellung (Rühmann, 1993; Johannsen, 1993), der angesprochenen Sinnesmodalität (Kirchner, 1998), der Anordnung von Elementen, dem Automatisierungsgrad (Hopkin, 1995), der verwendeten Hardware oder der Informationscodierung (Cushman & Rosenberg, 1991) erfolgen. Basierend auf DIN EN ISO 9241-400 (2007) und VDI/VDE 3850-2 (2002) schlägt Perott (2009) fünf Kategorien für Eingabegeräte vor (Abb. 10). Die Gliederung erfolgt nach Art der Körperbewegung, nach der Elementaraufgabe, den Freiheitsgraden, der erfassten Größe und dem Wirkprinzip (koordinatengebend vs. nicht koordinatengebend).

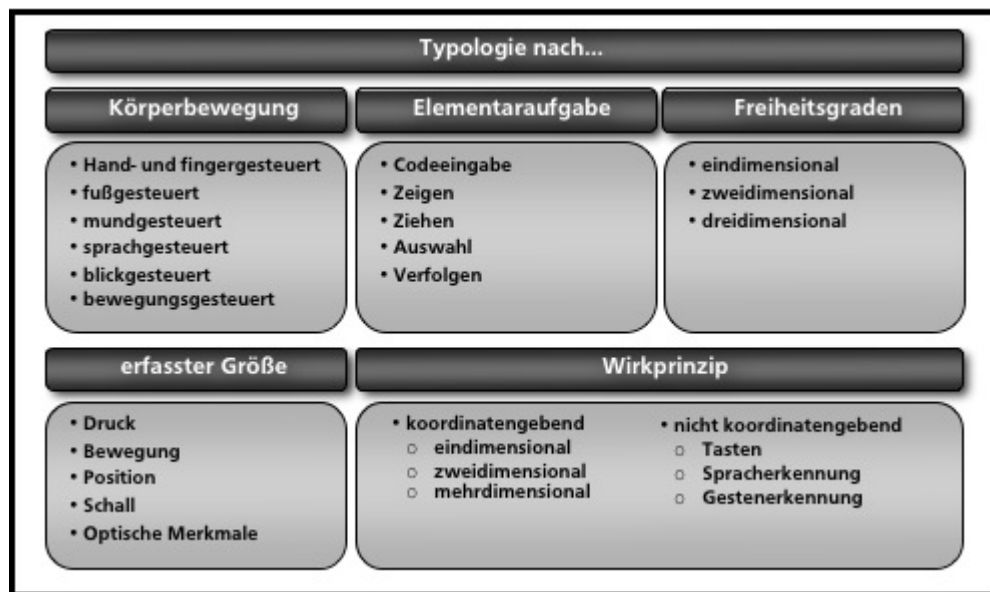


Abbildung 10: Systematisierung von Eingabegeräten (Perott, 2009, S. 53)

Funktionsbestimmung des HMI

Eine zentrale Aufgabe bei der Gestaltung ist die Definition der Systemfunktionalitäten und die Funktionsallokation, d. h. die Festlegung, welche Aufgaben das technische Teilsystem übernehmen soll und welche der Mensch im System (vgl. auch Kapitel 3.2.4). Aufgaben, die gemeinsam von Mensch und Maschine erfüllt werden müssen, benötigen einen Austausch über den aktuellen Zustand etc. mittels Ein- und Ausgaben am HMI.

3.3.4 Gestaltungsmöglichkeiten

Gestaltungsmittel und -prinzipien ermöglichen das Vermitteln der gewünschten Informationen, z. B. durch Text und grafische Elemente, die Anordnung von Informationen oder die Anzeigedauer. Durch Kombination mehrerer Mittel oder Prinzipien kann der gewünschte Eindruck erreicht und das Verhalten des Anwenders beeinflusst werden.

Dazu ist ein Verständnis der Prinzipien und Mechanismen der Wahrnehmung notwendig (z. B. Kluwe, 2008), für grafische Benutzeroberflächen beispielsweise die Wahrnehmung von Farben, Formen und Bewegungen auf Flächen und in der Tiefe. Die Leistungsfähigkeit und die Grenzen des Wahrnehmungssystems müssen ebenso berücksichtigt werden (Absolutschwellen, Unterschiedsschwellen für die unterschiedlichen sensorischen Modalitäten, vgl. Kluwe, 2008; Signalentdeckungstheorie, vgl. Engelkamp & Zimmer, 2006) wie der Einfluss unterschiedlicher subjektiver und individueller Faktoren auf die Konstruktion des Wahrnehmungseindrucks auf der Basis der Sinneseindrücke. Zu diesen Faktoren gehören Antworttendenzen bzw. Heuristiken (Kluwe, 2008),

schon vorhandenes Wissen und Erwartungen (z. B. Stapelkamp, 2007; Engelkamp & Zimmer, 2006) oder das menschlichen Bedürfnis, einzelne Elemente auf einer Fläche in Beziehung zueinander zu setzen und kausale Zusammenhänge zwischen Ereignissen zu sehen (Stapelkamp, 2007), bzw. einzelne Sinneseindrücke miteinander zu verknüpfen. Nachfolgend werden einzelne Gestaltungsprinzipien erläutert, welche zur Gestaltung eines visuelles HMI verwendet werden können.

Verwendete Sinneskanäle

Die Wahl der eingesetzten Sinneskanäle, die Art der zu vermittelnden Informationen und der Nutzungskontext bestimmen über die Auswahl der Gestaltungsmittel mit. So eignen sich visuelle Informationen besonders für nicht zeitkritische oder räumliche Informationen, bei Bezug zu weiteren visuell repräsentierten Informationen, großen Informationsmengen und in lauten Umgebungen bzw. bei Überlastung des auditiven Systems (Cushman & Rosenberg, 1991). Auditive Informationen sind bei schlechten Sichtbedingungen und bei Überlastung des visuellen Systems zu bevorzugen, um insbesondere in sicherheitskritischen Situationen durch akustische Warntöne die Aufmerksamkeit zu lenken und sofortiges Handeln zu implizieren (z. B. Wickens & Colcombe, 2007). Ein haptisches bzw. taktilen HMI ermöglicht eine Interaktion ohne visuelle Zuwendung und ist immer dann angebracht, wenn eine sofortige Reaktion des Anwenders notwendig ist bzw. wenn die anderen Sinnessysteme schon ausgelastet sind.

Im Tower werden visuelle und akustische HMI eingesetzt, über die jeweiligen Eingabemittel kann außerdem implizit eine haptische Qualität vermittelt werden (z. B. Mikrofon mit Sprechaste, Tastatur). Warnungen werden häufig sowohl visuell vermittelt als auch akustisch unterstützt. Durch die Vielzahl unterschiedlicher HMI besteht jedoch die Gefahr einer Überlastung des visuellen und akustischen Kanals, so dass wichtige Informationen nicht ausreichend wahrgenommen werden. Hier ist eine Priorisierung der Informationen und insbesondere Warnung sowie eine Integration der Ein- und Ausgaben in ein übergreifendes Informations- und Interaktionskonzept empfehlenswert.

Informationsmenge

Die Anzahl und Art der zu vermittelnden Informationen ist ein relevanter Faktor bei der Gestaltung von HMI (z. B. Stapelkamp, 2007). Neben technischen Grenzen wie z. B. der Größe und Auflösung eines Displays ergeben sich Begrenzungen vor allem durch die Möglichkeiten des Nutzers, wie z. B. die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley, 1986) bzw. des jeweiligen sensorischen Speichers (Kluwe, 2008). Diese Angaben erlauben eine erste Einschätzung, wie viele Informationseinheiten ein Fluglotse gleichzeitig aufnehmen und verfügbar halten kann. Soll eine Information länger behalten werden, müsste sie ins Langzeitgedächtnis übergehen.

Für die Gestaltung von HMI lässt sich ableiten, dass die Menge an gleichzeitig zu verwendende Informationen begrenzt werden muss, da der Anwender nur eine beschränkte Informationsmenge aktiv verarbeiten und direkt wieder abrufen kann. Bei einem größeren Informationsbedarf können Daten zusammengefasst oder das HMI zur Auslagerung dieser Informationen bis zu ihrem erneuten Gebrauch genutzt werden. Aus der Annahme mehrerer, getrennter sensorischer Speicher (Kluwe, 2008) lässt sich auch ableiten, dass sich die Wahrnehmungsprozesse von auditiven und visuellen Informationen nicht gegenseitig stören, so dass sowohl visuelle als auch auditive Informationen simultan dargeboten und verarbeitet werden könnten. Allerdings trifft dies nur teilweise zu (Kluwe, 2008), da die sensorischen Informationen von einer zentralen Instanz, der zentralen Exekutiven, aufgenommen und weiter verarbeitet werden, welche ebenfalls nur über begrenzte Ressourcen verfügt. Daher wird empfohlen, wesentliche Informationen sowohl visuell als auch auditiv anzubieten, um ihre Wahrnehmung sicherzustellen. Auch sind die Leistungseinschränkungen bei unähnlichen sensorischen Anforderungen geringer. Eine weitere Ableitung für die Gestaltung nennt Aufgrund des Irrelevant-Speech-Effekts (Kluwe, 2008, S. 46; Engelkamp & Zimmer, 2006) sollten relevante und irrelevante Informationen nicht gleichzeitig auditiv dargeboten werden, da sie aufgrund der Verarbeitung im gleichen sensorischen Speicher interferieren.

Anordnung von Informationen bzw. Layout-Gliederung

Die Layout-Gliederung vermittelt u. a. die Bedeutung der einzelnen Elemente (z. B. Texte, Symbole, Bilder, Tabellen, Bedienfelder), Reihenfolgen oder Zusammenhänge (Stapelkamp, 2007) durch Anordnung und Proportionierung der angezeigten Informationen. Gängig ist eine Aufteilung in mehrere Spalten oder Zeilen, eine Unterteilung in einen zentralen und einen peripheren Bereich, in einen Menü- und einen Inhalts-Bereich oder eine Kombination aus mehreren Prinzipien (Stapelkamp, 2007). Haubner (1985, nach Wandmacher, 1993) nimmt eine Grobaufteilung eines Bildschirms nach den vier Informationsklassen Zustands-, Arbeits-, Steuerungsinformationen und Systemmeldungen vor und rät zu einer Anordnung von Zustandsinformationen im oberen Bildschirmbereich und Systemmeldungen im unteren Bildschirmbereich.

Der Inhalt hat ebenfalls Auswirkung auf Gestaltung, indem einzelne Elemente z. B. entsprechend ihrer Bedeutung (Wichtigkeit), ihres zeitlichen Ablaufs, ihrer tatsächlichen räumlichen Lage bzw. Anordnung, ihrer Zugehörigkeit zu Kategorien etc. auf einem Bildschirm angeordnet sind (Stapelkamp, 2007). Insbesondere die räumliche Anordnung von Informationen auf einem Display oder die Darstellung von Prozessen und Abläufen bestimmt wesentlich über die Informationsverarbeitung des Benutzers mit (vgl. Abbildung 11). Eine geeignete Darstellung erleichtert dem Anwender die visuelle Orientierung (FAA, 2003), unterstützt ihn beim Herausfiltern und Verarbeiten von Informationen sowie der Umsetzung seiner Entscheidungen in Handlungen. Im Allgemeinen

geht der Informationsaufnahme ein Suchprozess voraus, bei dem die Aufmerksamkeit gezielt auf einen spezifischen Bereich gelenkt wird (z. B. Schlick et al., 2010, Engelkamp & Zimmer, 2006). Wesentlich ist daher die räumliche Nähe von gemeinsam bzw. zum gleichen Zeitpunkt benötigten Informationen (Proximity Principle, Kluwe, 2008, S. 50). Doch auch Informationen außerhalb des Aufmerksamkeitsfokusses werden wahrgenommen, zumindest kurzfristig abgespeichert und mit den eigenen Erwartungen verglichen. Entsprechen die Informationen nicht den Erwartungen, kann die Aufmerksamkeit auf diese Unregelmäßigkeit gerichtet werden.

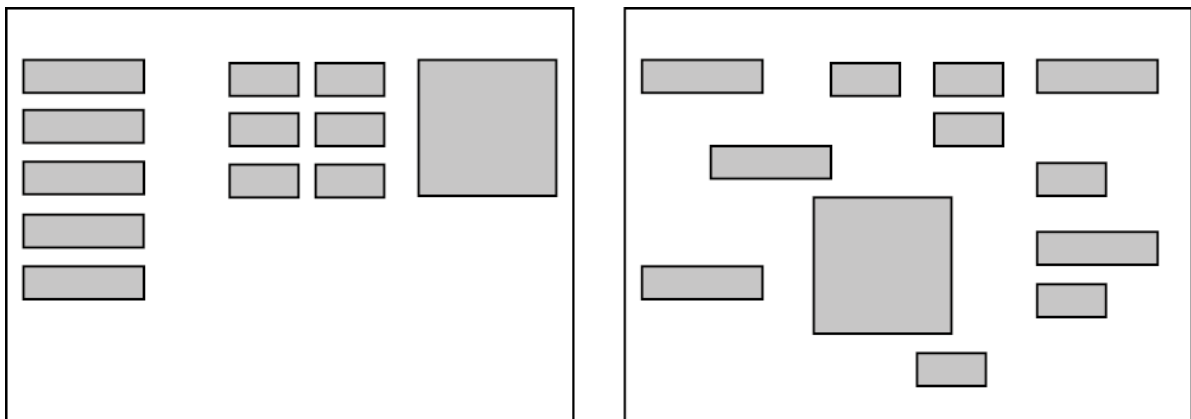


Abbildung 11: Mögliche Informationsanordnung auf einem Bildschirm

Visuelle Wahrnehmungsphänomene werden in den Gestaltgesetzen beschrieben (z. B. Wertheimer, 1923, vgl. auch Schlick et al., 2010). Sie ermöglichen die Begründung von Gestaltungslösungen (Ware, 2004) und eine Erklärung, aus welchem Grund Objekte als zusammen gehörend (Goldstein, 1997), als Einheit oder Figur wahrgenommen oder als ästhetisch empfunden werden (vgl. Wertheimer, 1923; Engelkamp & Zimmer, 2006). Als Binnengliederungs-Prinzip (Wandmacher, 1993) unterstützen sie den Menschen in der einfachen, konsistenten und stabilen Organisation seiner Wahrnehmungseindrücke (Wandmacher, 1993), z. B. durch eine Figur-Grund-Unterscheidung (Goldstein, 1997), und die Orientierung in seiner Umgebung. Grundlage ist das Prinzip der Prägnanz, d. h. die Tendenz zur Wahrnehmung einer möglichst einfachen Reizstruktur (Wandmacher, 1993). Die Anzahl der Gestaltgesetze variiert je nach Quelle, häufig genannt werden Gesetz der Nähe (proximity), Ähnlichkeit (similarity), Gute Fortsetzung (continuity), Symmetrie (symmetry), Geschlossenheit (closure) und gemeinsames Schicksal (z. B. Ware, 2004; Wandmacher, 1993; Schlick et al., 2010). Relevante Eigenschaften sind beispielsweise Form, Farbe, Größe und Orientierung der Objekte.

Die gestaltpsychologischen Prinzipien können für die Gestaltung von Bedienoberflächen und die räumliche Anordnung von Elementen genutzt werden, z. B. um die Zusammengehörigkeit von Elementen durch räumliche Nähe, gleiche Form, Farbe oder Ausrichtung als Gruppe anzuzeigen (Wirth, 2002), Besonderheiten hervorzuheben, Veränderungen und Abweichungen hervorzuheben oder Verwechslungen zu vermeiden. Mitunter wirken mehrere Prinzipien gegeneinander oder miteinander (Wandmacher, 1993). Widersprüchliche Aussagen können den Nutzer irritieren und zu unerwünschten Wirkungen führen. Sind dagegen inhaltliche Strukturierung und grafische Gestaltung und Anordnung konsistent, erhält die Aussage mehr Gewicht und wird stärker wahrgenommen. Die Prinzipien wirken dabei sowohl räumlich als auch auf zeitlicher Ebene: Zeitlich nahe, ähnliche oder sich in die gleiche Richtung verändernde Signale werden als zusammengehörend wahrgenommen, was beispielsweise bei der Wahrnehmung von Musik und Sprache eine wesentliche Rolle spielt (vgl. Wandmacher, 1993).

Das Konzept des Object Displays von Wickens (Wickens & Hollands, 2000) sieht die Erhöhung der Wahrnehmungsökonomie vor, indem mehrere Variablen durch ein einfaches Objekt zu repräsentiert (codiert) werden, so dass sie schnell und intuitiv als Ganzes wahrgenommen werden könnten. Dies gelingt beispielsweise durch die Verwendung von Metaphern mit natürlichem Bezug zwischen der Variablen und ihrer Darstellung (Ware, 2004; Carroll, Mack & Kellogg, 1988), z. B. durch die Darstellung eines Flüssigkeitstanks auf einem Display als Zylinder und die Temperatur der Flüssigkeit als Farbe (Ware, 2004, S. 240).

Bei komplexen Tätigkeiten in der Flugsicherung geht es darum, „aus der Menge der präsentierten Informationen die jeweils relevanten Informationen zum jeweils richtigen Zeitpunkt“ (Kluwe, 2008, S. 49) aufzunehmen und zu verarbeiten. Die Suchmuster variieren dabei u. a. abhängig von der Erfahrung der Nutzer (vgl. Wickens, 1999, zitiert nach Kluwe, 2008). Experten prüfen ihre Instrumente häufiger, jedoch kürzer, und vor allem diejenigen Instrumente, mit denen sie zukünftige Situationen abschätzen können. Die Lenkung der Aufmerksamkeit kann u. a. durch die Gestaltung von Elementen geschehen, durch hohe Intensität, Hervorhebung, besondere Größe oder Farbe, Blinken oder auch zusätzliche Audio-Signale (z. B. Wickens & Hollands, 2000, Shneiderman & Plaisant, 2005), Hinweisreize oder Vorschau-Anzeigen. Irrelevante Information kann bei auffälliger Gestaltung die Aufmerksamkeit auf sich lenken und damit von den relevanten Informationen ablenken (Saliency bias, vgl. Wickens & Hollands, 2000), sie sollte daher unauffällig gestaltet werden. Durch die Verwendung von den Nutzern vertrauten Metaphern wie z. B. den Flugstreifen aus Papier (Paperstrip) auch auf einem Display können abstrakte oder komplexe, miteinander in Beziehung stehende Informationen wie z. B. das Callsign, die Abflugrichtung und -zeit und der Flugzeugtyp gemeinsam wahrgenommen und effizient verarbeitet werden.

Detailgrad

Bei der Darstellung komplexer Informationen auf einem begrenzten Raum sind Einschränkungen bei Informationsumfang oder Detailtiefe notwendig. Eine Darstellung des Gesamtsystems bzw. des kompletten Menüumfangs kann zwangsläufig nur als Übersicht geschehen, bei der Details ausgespart bzw. in tiefere Ebenen verschoben werden. Die Übersicht ermöglicht dem Benutzer den Aufbau einer ersten mentalen Repräsentation, welche dann im weiteren Verlauf erweitert und detailliert wird (Anderson & Funke, 2007; Dutke, 1994). Die Verwendung von Ausschnittdarstellungen mit ggf. höherem Detailgrad kann sinnvoll sein, geht jedoch auf Kosten der Gesamtübersicht, da der Zusammenhang zu anderen Bereichen sowie wichtige Informationen oder Auswirkungen an anderer Stelle nicht sichtbar sind. Das mentale Zusammensetzen mehrerer Detailausschnitte erfordert den Einsatz zusätzlicher kognitiver Ressourcen (Anderson & Funke, 2007). Eine Kombination von Übersichts- und Detailausschnittdarstellung kann eine sinnvolle Lösung sein, um sowohl einen Gesamtüberblick über das System als auch relevante Detailinformationen gleichzeitig und im Zusammenhang anzuzeigen und die Integration zu einem kohärenten mentalen Modell zu unterstützen.

Möglichkeiten der Informationscodierung

Informationen können durch Zahlen, Buchstaben und Zeichen sowie unterschiedliche grafische Mittel codiert werden.

Kontrast bzw. starke Leuchtdichteunterschiede zwischen einzelnen Elementen eines HMI bestimmen den ersten optischen Eindruck, und können zur Trennung von Bereichen auf dem Bildschirm, zur Strukturierung des Gesamt-Layouts bzw. der Hervorhebung einzelner Elemente verwendet werden. Kontrast lässt sich beispielsweise durch Farben, Muster, Formen (Stapelkamp, 2007) oder Größenunterschiede erzeugen.

Farben werden durch eine Kombination von Farbton, Sättigung und Leuchtdichte (Helligkeit) bestimmt (vgl. Schmidt, Lang & Thews, 2005; Kirchner & Baum, 1986). Sie lenken die Aufmerksamkeit und unterstützen die visuelle Informationsverarbeitung (Wandmacher, 1993), indem sie die Trennung von Wahrnehmungsfeldern unterstützen und somit die Wahrnehmung von Objekten und Szenen ermöglichen (Goldstein, 1997), die Orientierung erleichtern (Wandmacher, 1993) und die Ähnlichkeit oder Unterschiedlichkeit von Elementen hervorheben. Mit Farben können beispielsweise Funktionszustände („an“, „aus“), Gefahrenstufen, Bedienmöglichkeiten („aktiver Button“), die Zugehörigkeit zu einer sozialen Gruppierung oder emotionale Zustände codiert werden (Stapelkamp, 2007). Dabei ist die Gruppierung mittels Farbe stärker wirksam als über Größe oder Form. Farbige HMI werden außerdem als angenehmer, ästhetischer, anregender und hilfreicher bewertet und vom Nutzer bevorzugt (z. B. Wandmacher, 1993). Farbcodierung ist vorteilhaft für die

Gestaltung von Displays in der Flugsicherung (ATC-Displays), z. B. zur visuellen Gruppierung von Daten, zur Anzeige eines Systemzustands, zur präattentiven Aufmerksamkeitssteuerung und Priorisierung (Ahlstrom & Arend, 2005). Trotz des hohen Auflösungsvermögens des Menschen bzgl. Farben eignen sich für die Gestaltung von HMI in der Flugsicherung jedoch nur eine begrenzte Auswahl von Farben bzw. Farbkontrasten, welche eindeutig und unter allen vorliegenden Bedingungen bzw. dem Nutzungskontext sicher voneinander unterschieden werden können. Einschränkungen für die Gestaltung ergeben sich durch die Ressourcenbegrenzung des kognitiven Systems, welche die Anzahl der merkbaren Farbbedeutungen bestimmt. Physiologische Phänomene wie z. B. die chromatische Aberration sowie eine unterschiedliche Empfindlichkeit des visuellen Systems für unterschiedliche Farbtöne müssen bei der Gestaltung ebenfalls berücksichtigt werden (Goldstein, 1997; Wandmacher, 1993). Auch die psychologische Wirkung einzelner Farben oder Farbkombinationen auf den Betrachter, wie etablierte Farbbedeutungen aus anderen Anwendungen oder Nutzungskontexten sowie kulturelle Stereotypen (vgl. DIN EN 981, 2009), ist zu berücksichtigen (vgl. Goldstein, 1997; Cushman & Rosenberg, 1991; Stapelkamp, 2007).

Informationen können außerdem durch bildliche Darstellungen, insbesondere **Icons, Metaphern und Symbole** (Stapelkamp, 2007), vereinfacht dargestellt werden. Als Icon wird eine abstrahierte, kurze und sparsame Darstellung bezeichnet, welche erst im Kontext verständlich ist und durch ihre strukturelle Ähnlichkeit mit dem Bezeichneten einen klaren Hinweis auf die Bedeutung, die Möglichkeiten und Konsequenzen bietet. Metaphern verwenden bekannte Objekte und Umgebungen zur Repräsentation von schwer begreiflichen Informationen und stellen Sinnzusammenhänge her. Ein Symbol weist dagegen keine strukturelle Ähnlichkeit mit dem Bezeichneten auf, sondern besitzt eine willkürlich festgelegte Bedeutung, welche, nicht direkt aus dem Bild abgeleitet werden kann, sondern vom Anwender erlernt werden muss (vgl. auch Dahm, 2006; Cushman & Rosenberg, 1991).

Weitere Gestaltungsmittel sind Form, Textur, Dichte, Transparenz und Größe bzw. Größenrelation (z. B. Stapelkamp, 2007; Cushman & Rosenberg, 1991; Wandmacher, 1993). Abbildung 12 stellt einige Gestaltungsmittel zusammen, welche bei der grafischen Gestaltung von HMI in der Flugsicherung eingesetzt werden können.

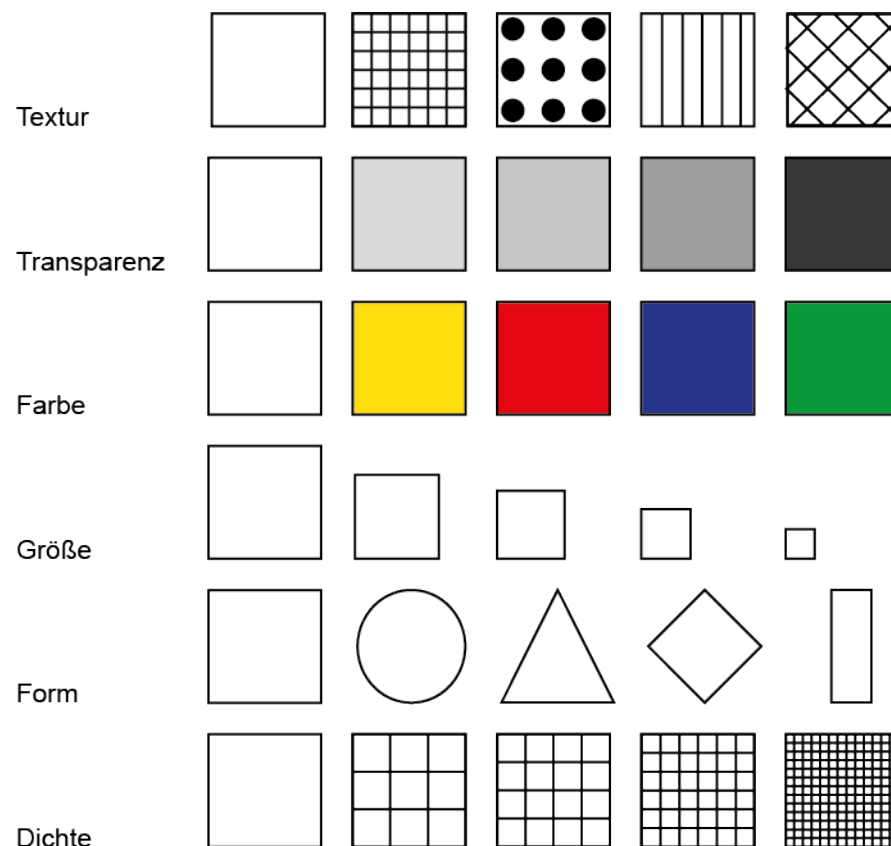


Abbildung 12: Auswahl von Gestaltungsmitteln

Anzeigedauer und dynamische Eigenschaften

Eine wesentliche Voraussetzung für die optimale Wahrnehmung einer Information ist, dass sie Aufmerksamkeit erhält (Kluwe, 2008) und irrelevante Informationen unterdrückt werden. Der Wechsel des Aufmerksamkeitsfokusses von einer Information zur nächsten kann durchaus eine bis mehrere Sekunden beanspruchen und birgt die Gefahr, dass währenddessen nicht alle Informationen ins Arbeitsgedächtnis überführt werden können. Eine geringe Anzahl von Informationen über einen langen Zeitraum hinweg oder ein unregelmäßiges Auftreten kann zu einer geringen Vigilanz des Nutzers (Kluwe, 2008, S. 48) führen, wodurch Informationen übersehen werden. Bei der Gestaltung muss dies berücksichtigt werden, indem die Darbietungsdauer ausreichend lange gewählt bzw. auf relevante Informationen explizit hingewiesen oder das Signal auffallend gestaltet wird. Weitere dynamische Eigenschaften sind die zeitliche Veränderung von Informationen (Variabilität) und die Anpassung der Darstellung an die Handlungen des Anwenders (Adaptivität).

Text

Grundvoraussetzung für das Erfassen von Textelementen ist ein ausreichend hoher Kontrast zwischen Text und Hintergrund, um die einzelnen Buchstabenformen erkennen zu können. Insbesondere für die Darstellung von Schrift auf dem Bildschirm gibt es zahlreiche Empfehlungen, u. a. zur Linienstärke (Snyder, 1988, nach Wandmacher, 1993), Schriftart und -schnitt (Stapelkamp, 2007), Buchstabengröße (Cushman & Rosenberg, 1991), Zeilenabstand und Zeilenlänge (Tullis, 1988; Wilkins & Nimmo-Smith, 1987), Zeichenabstand (Cushman & Rosenberg) und Groß- und Kleinschreibung (Vartabedian, 1971, nach Wandmacher, 1993). Zwischen Zeichendichte, definiert als „der Anteil der geschriebenen Zeichen an der Gesamtzahl der möglichen Zeichen auf dem Bildschirm“ (Wandmacher, 1993, S. 328), und Leistung wird ein umgekehrt U-förmiger Zusammenhang angenommen, wobei jedoch der Übungsgrad der Nutzer berücksichtigt werden muss. Auch sind höhere Zeichendichten durch eine zusätzliche visuelle Gruppierung möglich. Empfehlungen speziell für die Gestaltung von Schrift in der Flugsicherung gibt Broadbent (2000), Anpassungen der generellen Leitlinien an Bildschirme unterschiedlicher Art diskutiert Stapelkamp (2007).

Eingaben

Die Funktionsauslösung auf einem visuellen HMI kann nach Wandmacher (1993) durch Kommandoeingabe, Menüauswahl oder Masken ausfüllen bzw. aus Kombinationen erfolgen. Sie ist nicht unbedingt an das jeweilige Eingabegerät gekoppelt, sondern kann auf unterschiedliche Arten umgesetzt werden. Eine Besonderheit sind „direkt manipulative Benutzungsoberflächen“ (Wandmacher, 1993; Shneiderman & Plaisant, 2005) mit einer grafischen Repräsentation der Funktionen durch auswählbare Objekte. Dies entspricht in etwa den heutigen WIMP-Oberflächen der meisten allgemein verfügbaren Software, mit den Elementen Windows (Inhalte in Fenster dargestellt), Icons (grafische bildhafte Darstellung von Objekten), Menüs (Funktionen werden durch Menüpunkte aufgerufen) und Pointing Device (Dahm, 2006; Shneiderman & Plaisant, 2005). Direkte Manipulationen werden als besonders natürliche Interaktion bezeichnet (Ziegler & Fähnrich, 1988; Stapelkamp, 2007), da sie der realen Interaktion mit einem Objekt ähneln (z. B. Verschieben eines Blatt Papiers) und damit bekannte und etablierte Handlungen unter der Verwendung geringer kognitiver Ressourcen übertragen werden können. Daraus resultieren u. a. eine schnelle Erlernbarkeit der Eingaben, eine effiziente Aufgabenbearbeitung und eine hohe Kontrollierbarkeit der eigenen Handlungen durch den Nutzer (Shneiderman & Plaisant, 2005). Kellerer, Eichinger, Sandl & Klingauf (2009) wiesen eine teilweise höhere Bedienleistung für Touchscreens im Vergleich zu einem Trackball nach. Allerdings kann bei Experten nach einer Trainingsphase eine hohe Effizienz mit Kommandoeingaben erreicht werden (vgl. Wandmacher, 1993). Bei der Gestaltung aller

Eingaben sind die verfügbaren körperlichen und kognitiven Ressourcen des Nutzers in der jeweiligen Situation zu berücksichtigen (Kirchner & Baum, 1986). Ein häufiger Wechsel zwischen unterschiedlichen Eingabemedien und -weisen verringert die Gefahr einer Überlastung einzelner Körperteile (z. B. Repetitive Strain Injury, Luczak et al., 2010), kostet jedoch Zeit und verringert daher die Leistung. Zu berücksichtigen ist auch die Kohärenz, d. h. die Passung von Eingabemittel und Aufgabe bzw. Element (Kirchner & Baum, 1986).

3.3.5 Gestalten für hohe Komplexität

Komplexe Systeme mit zahlreichen, interagierenden Variablen stellen besonders hohe Anforderungen an die kognitive Verarbeitung des Anwenders (Dörner et al., 1994). Da häufig nicht alle Variablen bekannt und Zusammenhänge intransparent sind, muss er Entscheidungen unter Unsicherheit treffen. Ein wesentliches Gestaltungsziel ist daher die Unterstützung seines Informationsverarbeitungsprozesses durch Aufmerksamkeitslenkung auf die aktuell relevanten Informationen, eine geeignete Informationsanzeige sowie Unterstützung beim Aufbau eines adäquaten mentalen Modells. Hierbei können mehrere Ansätze verfolgt werden: **Inhalte** sollten sich an dem Nutzungskontext orientieren (Kluwe, 2008), so dass Informationen je nach Situation, Nutzer, Ziel und Aufgabe in der geeigneten Dauer und Form angezeigt werden (Prinzip der interessensrelevanten Visualisierung, König et al., 2008a) und der Nutzer optimal in seinem Arbeitsprozess unterstützt wird. Die Reduktion von Informationsmenge, Varietät sowie Anzahl dargestellter relevanter Beziehungen **verringert** aus Sicht des Nutzers die **Komplexität** des HMI (vgl. Xing, 2004, Dörner et al., 1994). Eine weitere Komplexitätsreduktion durch Vereinfachungen und Planungsunterstützungen kann sinnvoll sein, beinhaltet jedoch das Risiko, dass nicht alle benötigten Informationen angezeigt werden oder sich der Nutzer zu stark darauf verlässt und weitere relevante Informationen ignoriert (Wickens & Hollands, 2000). Die **Aufmerksamkeitslenkung** durch Hinweise und Alarm-signale hilft bei der Priorisierung von Informationen (z. B. Kluwe, 2008; Buß, 2005) und wirkt direkt auf das Verhalten des Nutzers ein. Eine Darstellung früherer Systemzustände sowie möglicher Entwicklungen ermöglicht dem Nutzer, den Verlauf nachzuvollziehen und zukünftige Systemzustände zu **prognostizieren** bzw. seine Handlungen frühzeitig zu planen. Durch Zusammenfassung oder Automatisierung von Arbeitsschritten ist eine geringere Aufmerksamkeit notwendig und die Gefahr von Fehleingaben verringert. Übersichtsdarstellungen, welche die Einordnung erhaltener Informationen ermöglichen, verbessern das **Situationsbewusstsein** des Nutzers (Kluwe, 2008). Zu berücksichtigen sind außerdem Veränderungen im Nutzungskontext, z. B. durch Lernprozesse der Nutzer, variierenden Umgebungsbedingungen (Bsp. Helligkeit, Temperatur, Sonnenstunden) oder baulichen Veränderungen (Bsp. Neubau oder Umbau eines Towers), in kurz- und langfristigen

Zyklen wechselnden Aufgaben und abhängig davon anzupassenden Arbeitsstrategien. Schon kleine Veränderungen können sich mitunter massiv auf Arbeitsprozesse auswirken (vgl. König et al., 2012), während eine veränderte Arbeitsweise auch andere Ursachen als die Umgestaltung des HMI haben kann (vgl. Hopkin, 1980, S. 548).

Bei der Gestaltung von HMI muss somit der Arbeitsplatz inklusive seiner aktuellen und zukünftigen Komplexität sowie möglichen zukünftigen Entwicklungen berücksichtigt werden. Auch werden die Auswirkungen einzelner Design-Entscheidungen auf weitere Systemkomponenten bzw. das Gesamtsystem nicht immer ausreichend berücksichtigt. Die Projektion eines zukünftiger Bedarfs aufgrund angenommener Entwicklungen und zukünftiger Arbeitsbedingungen fällt Nutzern jedoch schwer (vgl. z. B. Nielsen, 1993; König et al., 2010). Zudem kann die Anwendung des menschenzentrierten Ansatzes durch die Komplexität und Spezifität der Tätigkeiten beeinträchtigt werden (z. B. Hopkin, 1980, S. 548), da das Entwicklungsteam nur schwer einen umfassenden und detaillierten Einblick in die benötigten Funktionalitäten erhält und auch kleine Gestaltungsänderungen Auswirkungen auf die weiteren Systemkomponenten haben können und deren Anpassungen notwendig machen. Auch gehören zu den Merkmalen komplexer Mensch-Maschine-Systeme Unsicherheit, Dynamik der Umgebung, Zeitdruck und ein hohes Entscheidungsrisiko (Witt, Schwarz & Özyurt, 2007) sowie variierende, undefinierte und konkurrierende Ziele.

Eine mögliche Lösung wären adaptierbare HMI, bei denen der Nutzer die Informationsdarbietung selbst beeinflussen kann. Bei komplexen Systemen stellt jedoch alleine die Anpassung der Darstellung schon eine Herausforderung dar, die in komplexen und insbesondere zeitkritischen Situationen nur schwer vom Nutzer vollständig lösbar ist. Hier sind entweder Unterstützungen durch das HMI selbst oder aber eine selbstständige Adaptation des HMI denkbar, wenn auch ebenfalls herausfordernde, Optionen.

3.3.6 Prototyping

Im Rahmen der Gestaltung von HMI ist außerdem die Erstellung von Prototypen vorgesehen, welche der Verdeutlichung von Gestaltungskonzepten und Funktionen, aber auch als Grundlage für Evaluationen und Produktdemonstrationen dienen.

Ziele und Nutzen

Im Software-Engineering wird unter Prototyp eine „spezielle Ausprägung eines ablauffähigen Software-Systems“ (Gieth et al., 1996, S. 123) verstanden, in der ausgewählte Aspekte realisiert wurden. Diese vorläufige Softwareversion dient der „Klarstellung von Aufgaben, Benutzeranforderungen, Design- und Implementierungsvorschlägen sowie zur Erprobung neuer Interaktions- und

Implementierungstechniken“ (Gieth et al., 1996, S. 123). DIN EN ISO 9241-210 definiert Prototypen als die „Darstellung eines Teils oder eines gesamten interaktiven Systems, die, gegebenenfalls mit Einschränkungen, zur Analyse, Gestaltung und Bewertung verwendet werden kann“ (S. 6). Sie sind komplexe externe Repräsentationen und ermöglichen dem Projektteam sowie partizipierenden Anwendern die Diskussion von Aussehen und Funktionalitäten (Hall, 2001), einen direkten Vergleich mehrerer Varianten (Mammel et al., 2007), die Klärung konstruktionsrelevanter Fragen (Gieth et al., 1996), die dynamische Beschreibung von System und Bedürfnissen sowie eine praktischen Erprobung im Anwendungsbereich. Zudem unterstützen sie den Aufbau von Erfahrungswissen und Verständnis. Neben aufwändigen Hardware-Prototypen werden heute aufgrund des geringeren Aufwands und der leichteren Variierbarkeit zunehmend Software-Prototypen erstellt (Hall, 2001). Prototypen können in allen Prozessphasen eingesetzt werden (Hall, 2001), ein häufiger Einsatz verringert Fehler und Wartungsarbeiten am Produkt (Gieth et al., 1996) und ist damit wesentlich für die Qualitätssicherung des Endprodukts. Nachteile können sich erheben, wenn durch die Umsetzung von Gestaltungslösungen in Prototypen bei den Beteiligten der Eindruck entsteht, die Gestaltung läge schon fest, bzw. wenn der Blick auf alternative Lösungen verstellt wird (Gieth et al., 1996). Die Umsetzung eines Prototyps ist vom jeweiligen Ziel (Jordan, 1998a), der aktuellen Prozessphase (Stanton & Young, 1999), der Komplexität sowie den verfügbaren Ressourcen abhängig, wobei der Ressourceneinsatz im Allgemeinen umso größer sein darf, je höher die Kosten eines ungeeigneten Designs wären. Wesentliche Eigenschaften von Prototypen sind „easy to work with and, above all, quick to produce and easy to maintain“ (Mammel et al., 2007, S. 180), da einfache, schnell erstellte Prototypen in einer größeren Anzahl und mit mehr Varianten hergestellt werden können und eine Anpassung bzw. ein Verwerfen leichter fällt als bei aufwändigen, detailliert ausgearbeiteten Prototypen.

Arten von Prototypen

Nielsen (1993) unterscheidet zwischen horizontalen und vertikalen Prototypen. Horizontale Prototypen zeigen lediglich die Oberfläche des Systems bzw. der Benutzungsschnittstelle und dienen als Überblick oder Diskussionsgrundlage (vgl. auch Gieth et al., 1996). Vertikale Prototypen hingegen bilden die Funktionen eines Systems in einem Ausschnitt vollständig ab, beinhalten aber keine Benutzeroberfläche. Nach einem ähnlichen Prinzip erfolgt die Aufteilung nach dem Grad der Fidelity (high fidelity vs. low fidelity, Hall, 2001), d. h. inwieweit ein Prototyp die Eigenschaften des endgültigen Produkts repräsentiert, bzw. inwieweit sich Prototyp und späteres Produkt in Interaktion und Aussehen ähneln (Struckmeier, 2011). Low-fidelity Prototypen eignen sich dabei vor allem zur Untersuchung der kognitiven Aspekte des Designs, wie beispielsweise das Displaylayout, während die physischen Aspekte wie taktiler oder auditiver Feedback einen höheren Fidelity-Level benötigen

(Hall, 2001). Prototypen mit gleichzeitig hoher und niedriger Fidelity sind ebenfalls möglich; McCurdy, Connors, Pyrzak, Kanefsky und Vera (2006) unterscheiden bei ihrem Konzept der Mixed Fidelity mit Grad der visuellen Verfeinerung, Funktionsbreite und -tiefe sowie Reichhaltigkeit von Interaktionen und Datenmodell fünf Dimensionen, in denen ein Prototyp jeweils hohe oder niedrige Fidelity aufweisen kann. Eine ähnliche Einordnung nimmt Rauterberg (1994) vor. Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit ist der Einsatzzweck (Hall, 2001; Säde, 1999): Experimentelle Prototypen sind häufig vertikal und werden nur zum Testen entwickelt und anschließend verworfen. Explorative Prototypen eignen sich vor allem zur Ermittlung von Anforderungen, zur Diskussion von Entwürfen und zur Demonstration möglicher Systemfunktionen. Evolutionäre Prototypen werden kontinuierlich weiterentwickelt, an die veränderten Anforderungen und Randbedingungen angepasst und so nach und nach bis zum Zielsystem ausgebaut. Struckmeier (2011) unterscheidet vier Formen von Prototypen in der Praxis: Storyboard-Präsentationen zeigen statische Bilder einer Anwendung. Papier-Prototypen enthalten ebenfalls Ansichten der Gestaltungslösung und lassen sich zudem leicht anpassen. Beide können eine hohe Detaillierung und Funktionstiefe abbilden. Bei Wizard-of-Oz-Simulationen werden komplexere Funktionalitäten durch einen Menschen simuliert, so dass der Eindruck einer vollständigen Implementierung entsteht. Voll funktionsfähige Prototypen beinhalten eine mindestens teilweise Interaktion mit dem System. Prototypen sollten nicht zu früh eine detailliert ausarbeitete Benutzungsoberfläche bekommen, da (insbesondere unerfahrene) Nutzer sonst zu stark das Aussehen und weniger die Funktionalität bewerten (z. B. McCurdy et al., 2006) und Hemmungen bestehen, anscheinend fertig gestaltete aussehende HMI zu kritisieren. Struckmeier (2011) stellt auf der Basis einer experimentellen Studie fest, dass bei einem visuell verfeinerten HMI die gleiche Anzahl von Usability-Problemen gefunden wird wie bei einem einfacheren, jedoch tendenziell mehr Probleme der Gestaltung berichtet wurden, bei geringer Verfeinerung dagegen eher Navigations- und Wording-Fehler. Tabelle 5 stellt typische Prototypenarten zusammen.

Tabelle 5: Arten von Prototypen

Prinzip	Quellen	Ausprägungen	Inhalt
Orientierung	Nielsen (1993) Hall (2001) Gieth et al. (1996) Rauterberg (1994)	Horizontaler Prototyp	Benutzeroberfläche des Systems, Überblick, geringe Funktionalität
		Vertikaler Prototyp	Vollständige Funktionen in einem Ausschnitt
Grad der Fidelity / Grad der Repräsentation der Produkteigenschaften	Hall (2001) McCurdy et al. (2006)	High Fidelity Prototyp	detaillierte Darstellung, viele Eigenschaften umgesetzt
		Low Fidelity Prototyp	grobe Darstellung, nur wenig Eigenschaften umgesetzt
Einsatzzweck	Säde (1999) Hall (2001) Gieth et al. (1996)	Experimenteller P.	zum Testen einzelner Funktionsbereiche
		Explorativer Prototyp	Übersicht, Diskussionsgrundlage
		Evolutionärer Prototyp	Weiterentwicklung zum Produkt
Physische Umsetzung	Schneidermeier, Böhm & Wolff (2011)	Software-Prototyp	Bilder, Videos oder interaktives System
		Hardware-Prototyp	Gehäuse, Hardkeys, Display
Vollständigkeit	Rauterberg (1994)	Vollständiger Prototyp	Pilotsystem, eigentliches System
		Partieller Prototyp	Nur wenige Anwendungs- und Dialogfunktionalitäten
Verwendetes Medium	Struckmeier (2011)	Storyboard-Präsentation	Bilder präsentiert
		Papier-Prototyp	Bilder und einfache Interaktionen
		Wizard-of-Oz-Simulation	Systemfunktionalitäten durch Mensch simuliert
		Vollständiger Prototyp	Funktionsfähige Umsetzung

Prototypen in der Flugsicherung

Generell sind in frühen Gestaltungsphasen einfache Prototypen für die ersten Entwürfe (Schneidermeier, Böhm & Wolff, 2011) bzw. zur Gestaltung von Oberfläche und Interaktion zu bevorzugen. Ein wesentliches Problem bei HMI in der Flugsicherung jedoch die Komplexität des Arbeitssystems, da das technische Teilsystem im Allgemeinen nicht nur mit dem Nutzer in Beziehung steht, sondern auch den Datenaustausch mit weiteren technischen Systemen benötigt. Für erste Prototypen genügt häufig das Bereitstellen der einzulesenden Daten als Datei, für einen realistischen Eindruck der Systemfunktionalität und das Erleben sämtlicher Interaktionen muss jedoch schon der Prototyp unter realistischen Bedingungen mit realen Daten betrieben werden. Da ein noch nicht zugelassenes System nicht in das Tower-System integriert werden kann und ein solcher Prototyp schnell sehr komplex und aufwändig wird, muss ein Kompromiss und eine für die aktuelle Entwicklungsphase und die verfügbaren Ressourcen angemessene Lösung gefunden werden.

3.3.7 Fazit zur Aktivität

Die dritte Aktivität beinhaltet das Entwickeln und Darstellen von Gestaltungsentwürfen, welche das Aussehen und die Funktionalität des Produkts abbilden. Dazu können vielfältige Gestaltungsmittel eingesetzt werden. Besonders beim Einsatz im Flugsicherungskontext müssen jedoch die speziellen Erwartungen und Bedeutungen sowie die Auswirkung auf den Informationsverarbeitungsprozess des Anwenders berücksichtigt werden. Der Einsatz multidisziplinärer Teams erweitert auch in der Gestaltung das Methodenrepertoire, so dass eine jeweils geeignete Methode leichter gefunden wird. Die Integration von Experten aus dem Bereich Flugsicherung sowie zukünftiger Nutzer hilft beim Entwickeln einer geeigneten Gestaltungslösung, da sie wertvolles Wissen einbringen und die grundsätzliche Eignung von Lösungen schnell beurteilen können.

Die Verwendung von Prototypen verdeutlicht die Gestaltungsentwürfe und erlaubt das frühzeitige Testen von Funktionalitäten. Dies ist vor allem bei der Integration zukünftiger Nutzer ein wesentlicher Vorteil, da so Bedienung und Systemverhalten kommuniziert und erprobt werden können. Welche Art von HMI geeignet ist, muss je nach Produkt, Prozessphase und Fragestellung bestimmt werden. Ist das HMI Teil eines komplexeren Mensch-Maschine-Systems mit mehreren Komponenten, ist außerdem zu klären, wie dies im Prototypen realisiert werden kann.

Eine Herausforderung dieser Aktivität ist der Bezug von Gestaltungslösungen und Anforderungen. Vor allem bei eher unspezifischen Anforderungen muss geklärt werden, ob die Gestaltungslösung die Anforderungen erfüllt oder nicht. Häufig stellt sich hier heraus, dass einzelne Anforderungen nicht spezifisch genug formuliert wurden oder so nicht umsetzbar sind. Hier zeigt sich der Vorteil des iterativen Vorgehens, da in der folgenden Runde die Anforderungen angepasst werden können. Auch kann eine Anforderung auf unterschiedliche Art und Weise erfüllt werden, z. B. die Forderung nach hoher Bediensicherheit bei einem HMI für einen Tower-Fluglotsen durch ein Bedienfeld auf einem Touchscreen, das groß genug ist, um auch bei schneller und unaufmerksamer Bedienung zuverlässig ausgelöst zu werden. Bediensicherheit wäre jedoch auch erfüllt, wenn jede Eingabe des Anwenders eine Rückfrage des Systems auslösen und die erneute Bestätigung der ausgewählten Option fordern würde. Beide Lösungen erfüllen einige und widersprechen gleichzeitig weiteren Anforderungen. Nicht immer sind von den einzelnen Gestaltungselementen Rückschlüsse auf die zugrunde liegenden Anforderungen möglich bzw. kann bestimmt werden, welche Ausprägung der Gestaltungselemente sich in welcher Weise auf die Bewertungskriterien wie z. B. Gebrauchstauglichkeit auswirken.

3.4 Evaluation

3.4.1 Ziel der Aktivität

Zur Evaluation gibt es zahlreiche Ansätze, jedoch keine allgemeingültige Definition des Begriffs (Wottawa & Thierau, 2003). Suchmann (1967, nach Wottawa & Thierau, 2003) definiert Evaluation als einen Prozess, in dem der Wert eines Produkt, Prozesses oder Programms beurteilt wird. Ein systematisches Verfahren zur Datenerhebung ist dabei nicht zwingend notwendig. Wottawa und Thierau (2003) nennen als wesentliche Kennzeichen einer wissenschaftlichen Evaluation außerdem die Bewertung von Handlungsalternativen, eine Ziel- und Zweckorientierung sowie eine Anpassung an den aktuellen Stand von Forschung und Methoden. ISO 8402 versteht unter einer sogenannten „quality evaluation“ eine „systematic examination of the extent to which an entity (...) is capable of fulfilling specified requirements“ (S. 24, zitiert nach Gieth et al., 1996), betont also die Systematik der Vorgehensweise sowie den Erfüllungsgrad konkreter Anforderungen. Insgesamt lässt sich Evaluation also als eine systematische Bewertung eines Produkts oder eines Vorgehens beschreiben. Ziel einer Evaluation im menschenzentrierten Vorgehen ist somit, herauszufinden, inwieweit die gesetzten Anforderungen erfüllt wurden (z. B. Zimmermann & Grötzbach, 2007, Wottawa und Thierau, 2003). Mit Anpassung der Anforderungen verändern sich auch die Ziele der Evaluation. In einem iterativen Prozess werden bei den ersten Evaluationen häufig Schwachpunkte des Gestaltungsentwurfs, Lücken und Fehler identifiziert. Bei Evaluationen in späteren Prozessphasen ist das Ziel eine abschließende Bestätigung über die Erfüllung der Anforderungen (Final Assessment, vgl. Woletz, 2006) bzw. der Vergleich zwischen unterschiedlichen Ergebnissen, um Übereinstimmungen oder Abweichungen festzustellen (Zimmermann & Grötzbach, 2007). Die Wahl der jeweiligen Evaluationsmethode muss an den Beurteilungsgegenstand, die Evaluationsziele, Nutzergruppe und verfügbaren Ressourcen angepasst sein.

3.4.2 Entwicklung und Klassifikation von Kriterien

Kriterien für die Bewertung von Systemen können zum einen aus allgemeingültigen Kriterienlisten (Standardkriterienkatalogen) abgeleitet werden (Gieth et al., 1996). Zu diesen kontextunabhängigen Kriterien gehören beispielsweise Styleguides oder Checklisten (z. B. ISONORM, Prümper & Anft, 1993). Viele Kriterien sind jedoch abhängig vom Nutzungskontext und müssen daher ausgehend von einer allgemeinen Form an die jeweiligen Bedingungen (Aufgabe, Arbeitsmittel, Umgebung und Benutzer, vgl. Gieth et al., 1996) angepasst oder direkt im Nutzungskontext erhoben werden, beispielsweise durch psychologische Arbeits- und Aufgabenanalysen (Hamborg & Schweppenhäuser, 1993). Teilweise sind Orientierungshilfen, spezifische Normen und Rechtsvorschriften

verfügbar (z. B. EVADIS, vgl. Oppermann et al., 1988). Gieth et al. (1996) stellen ein Schalenmodell zur Integration unterschiedlicher Gestaltungs- und Bewertungsebenen vor. In den sechs Ebenen Mensch-Mensch-Funktionsverteilung, Gestaltung der Arbeitsabläufe, Mensch-Rechner-Funktionsteilung, Werkzeug-Ebene (löst Sachproblem, Erreichen des Nutzungsziels), Dialog-Ebene (löst Interaktionsproblem, Arbeitsschritte, -abläufe), Ein-/Ausgabe-Ebene (Art der Eingabe, Darstellung von Daten, löst Präsentationsproblem) werden jeweils spezifische Gestaltungsaufgaben gelöst und ihre Erreichung bewertet. Bei der Festlegung müssen neben den Kriterien selbst die jeweiligen Maße festgelegt werden, d. h. Metriken, Einstufungsniveaus und Beurteilungskriterien.

3.4.3 Bewertungskriterien für HMI in der Flugsicherung

Eine wesentliche Frage ist hier, welche Maße erfasst werden, bzw. welche Kriterien zur Messung herangezogen werden. Zunächst sind die in der zweiten Aktivität definierten Anforderungen relevant, wie z. B. die betriebliche Eignung, die Gebrauchstauglichkeit für den Nutzungskontext oder die Akzeptanz durch die Anwender. Bei einer sorgfältigen Operationalisierung der einzelnen Anforderungen kann der Erfüllungsgrad jeder einzelnen Anforderung bestimmt werden. Das gilt vor allem für objektive Daten, wie beispielsweise der Informationsgehalt einzelner Elemente oder die Sichtbarkeit von Elementen. Schwieriger wird es bei nur indirekt messbaren Daten, wie beispielsweise die subjektive Bewertung der Gebrauchstauglichkeit durch den Nutzer. Generell ist eine mehrfache Erhebung mit verschiedenen Maßen und Methoden empfehlenswert. Zu berücksichtigen ist, dass sich die Beurteilung eines Kriteriums auf die eines anderen auswirken kann, wie z. B. die wahrgenommene Gebrauchstauglichkeit auf die Akzeptanz des Systems. Faktoren wie z. B. die Motivation der Nutzer oder ihre Erfahrung beeinflussen ebenfalls die Bewertung. Bei Evaluation von Anwendungen in der Flugsicherung muss dieser besondere Nutzungskontext und seine Auswirkungen auf die unterschiedliche Kriterien berücksichtigt werden.

Allgemeine arbeitswissenschaftliche Grundsätze

Aus der Arbeitswissenschaft werden allgemeine Grundsätze menschengerechter Arbeit abgeleitet, darunter Ausführbarkeit, Schädigungs- und Beeinträchtigungslosigkeit, Ermöglichung von sozialer Interaktion und Persönlichkeitsförderlichkeit (Gieth et al., 1996, Schlick et al., 2010). Spinas, Waeber und Strohm (1990) nennen als Kriterien Transparenz, Konsistenz, Toleranz, Kompatibilität, Unterstützung, Flexibilität und Partizipation. Diese Kriterien beziehen sich auf das gesamte Arbeitssystem und nicht auf ein konkretes Arbeitsmittel. Trotzdem können sie zur Evaluation eines HMI auch in der Flugsicherung verwendet werden.

Usability (Gebrauchstauglichkeit)

Von einem HMI wird erwartet, dass der Anwender das Produkt zu seinem gewünschten Zweck nutzen kann, d. h. dass es die benötigten Informationen an einer sinnvollen Stelle anzeigt, den Nutzer bei der Aufgabenausführung und Zielerreichung unterstützt und möglichst keine Fehlbedienungen verursacht. Insbesondere in hoch komplexen und sicherheitskritischen Bereichen wird außerdem erwartet, dass die dort verwendeten Systeme schnell und zuverlässig funktionieren, die Bedienung nicht von der eigentlichen Arbeit ablenkt bzw. die Aufmerksamkeit mehr auf sich zieht als unbedingt notwendig und keine Fehler aufgrund von unbeabsichtigten Eingaben passieren. Diese sowie weitere Eigenschaften werden unter dem Begriff Gebrauchstauglichkeit (synonym verwendet: Usability, Benutzerfreundlichkeit) zusammengeführt und in DIN EN ISO 9241-11 (1999) definiert als „Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen“ (S. 4). Effektivität bezeichnet dabei die Genauigkeit und Vollständigkeit, mit der der Nutzer ein bestimmtes Ziel erreichen kann, Effizienz setzt die Zielerreichung ins Verhältnis mit dem dazu benötigten Aufwand. Die Zufriedenstellung beinhaltet die Freiheit von Beeinträchtigungen und positive Einstellungen gegenüber der Nutzung des Produkts. Gebrauchstauglichkeit ist demnach keine eigenständige Produkteigenschaft, sondern von den Nutzern, ihren Aufgaben und der Umgebung abhängig (DIN EN ISO 9241-11). Zapf, Brodbeck und Prümper (1989) berücksichtigten daher die Triade Benutzer, System, Aufgabe, ihre Beziehungen untereinander und ihre Einbindung in die Organisation, so dass die Auswirkung neuer technischer Systeme auf die Aufgabe berücksichtigt wird. Eine Erweiterung von Gieth et al. (1996) fügt Hersteller, Experten und Anwender hinzu. Die Zuverlässigkeit des technischen Systems hat wesentlichen Einfluss (DIN EN ISO 9241-11). Dahm (2006) weist darauf hin, dass Gebrauchstauglichkeit integraler Bestandteil der Software sei und nicht nachträglich hinzugefügt werden könne.

Usability spielt bei Alltagsgegenständen und Software eine wichtige Rolle (z. B. Dahm, 2006; Jordan, 1998a; Burmester, 2007). Von einer hohen Gebrauchstauglichkeit wird u. a. erwartet, dass der Nutzer den Umgang mit dem Produkt schnell und ohne Mühe erlernt, dass er das Produkt einfach und zuverlässig nutzen kann, so dass er es als nützlich wahrnimmt. Schon die Bedienerfahrungen beim ersten Test im Geschäft wirken sich auf das Kaufverhalten des Nutzers aus. Bei Arbeitsmitteln wird Usability jedoch teilweise als „Nice-to-Have-Features“ gesehen statt als Teil und Ziel des Entwicklungsprozesses (Schneidermeier et al., 2011, S. 82). Jedoch weisen Sarodnick und Brau (2006) darauf hin, dass durch „unergonomische Software und benutzerunfreundliche Produkte und die daraus resultierenden Zeit- und Motivationsverluste (...) ein volkswirtschaftlicher Schaden in Milliardenhöhe“ (Sarodnick & Brau, 2006, S. 15) entstehe. Usability kann ein Marketingfaktor

(Chapanis, 1991) ein Wettbewerbsvorteil sowie Kostenersparnis für Unternehmen sein (Burmester, 2008). Dennoch gelten für Produkte aus dem Arbeitskontext andere Anforderungen, da hier mitunter zwischen einer einfachen Bedienung einerseits und einer effizienten und sicheren Bedienung andererseits abgewogen werden muss. Wird ein HMI häufig und von Experten genutzt, ist ein gewisser Einarbeitungsaufwand legitim, wenn damit später eine hohe Effizienz erreicht wird. Individuelle Einstellmöglichkeiten können vernachlässigt werden zugunsten einer hohen Einheitlichkeit, welche eine schnelle Übernahme des Kollegen-Arbeitsplatzes ermöglicht. Insbesondere Effektivität und Effizienz sind für die Flugsicherung hoch relevant, da ein HMI in erster Linie ein Arbeitsmittel darstellt, mit dem Aufgaben erfüllt werden sollen. Die Zielerreichung kann beispielsweise bei der Bearbeitung einer bestimmten Anzahl von Flugzeugen oder einer erfolgten Landung o. ä. erreicht sein, hängt aber vor allem von der jeweiligen Aufgabe des Nutzers ab. Sowohl objektive als auch subjektive Maße sind möglich. Die Zufriedenheit der Nutzer wird in sicherheitskritischen Bereichen wie der Flugsicherung teilweise als weniger relevant bezeichnet, da eine hohe Motivation und Expertise angenommen wird (vgl. z. B. Shneiderman & Plaisant, 2005). Jedoch kann geringe Zufriedenheit mit dem HMI auch ein Hinweis darauf sein, dass Gestaltungsmängel vorliegen, welche auch die Effektivität und Effizienz sowie die Sicherheit beeinflussen könnten. Auch kann eine positive Einstellung zum HMI dazu beitragen, dass das System wie geplant genutzt wird und seine Möglichkeiten auch tatsächlich ausgeschöpft werden.

Die in DIN EN ISO 9241-11 genannten drei Kriterien werden z. T. durch weitere, spezifischere ergänzt, z. B. Erlernbarkeit, Einprägsamkeit und Umgang mit Fehlern (Nielsen, 1993), um den Erwerb von Kompetenzen und Wissen über die Funktionsweise des Produkts zu berücksichtigen. Die sogenannten Goldenen Regeln von Shneiderman (z. B. Shneiderman & Plaisant, 2005) beinhalten u. a. die Forderung nach Konsistenz, der Berücksichtigung unterschiedlicher Erfahrungen, das Verhindern von Fehlern und eine geringe Belastung des Kurzzeitgedächtnisses. ISO 9126 (nach Gieth et al., 1996) definiert als Qualitätsmerkmale von Software Funktionalität, Zuverlässigkeit, Gebrauchstauglichkeit, Effizienz, Änderbarkeit und Übertragbarkeit. Dahm (2006) ergänzt die genannten Kriterien durch weitere wie beispielsweise Freude bzw. Joy of Use, ansprechende Gestaltung (Ästhetik), minimale Gestaltung und Orientierung an Arbeitsabläufen. Stapelkamp (2007) stellt die Verständlichkeit und Übersichtlichkeit von HMI in den Vordergrund, da durch eine geordnete Darstellung und übersichtliche Verzeichnisstruktur der Nutzer einen Überblick über die Funktionen und Interaktionsmöglichkeiten des HMI erhält und die Aufmerksamkeit auf die relevanten Inhalte gelenkt wird. Die Gestaltung sollte an den Nutzer sowie das jeweilige Medium angepasst sein und dem Nutzer einen Mehrwert ohne Mehraufwand bringen. Preim (1999) stellt 15 Entwurfsprinzipien auf, darunter die Unterstützung der Nutzer bei der Entwicklung eines mentalen

Modells, das Verdeutlichen der jeweils möglichen Aktionen, die adaptierbare Gestaltung einer Benutzungsschnittstelle und das Vermeiden von Überraschungen für den Nutzer. Wandmacher (1993, S. S. 189) nennt als allgemeinen Rahmen zur Bewertung von HMI außerdem die Überbrückung von Distanzen und Direktheit. DIN EN ISO 9241-110 setzt die genannten Kriterien in Gestaltungsgrundsätze für Dialogsysteme um, wie z. B. Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit und Individualisierbarkeit (vgl. auch Dzida, Wiethoff & Arnold, 1993; Zimmermann & Grötzbach, 2007). Die Priorisierung und Gewichtung der einzelnen Grundsätze sowie die Auslegung im Einzelfall müssen für jedes interaktive System individuell bestimmt werden, da sie unter anderem von den Benutzermerkmalen, den Arbeitsaufgaben und der Arbeitsumgebung abhängen. Die genannten Dialogkriterien ergänzt Wandmacher (1993) durch Transparenz, den Grad der Handlungsdirektheit und die Natürlichkeit als Kriterien.

Viele der mit Usability zusammenhängenden Kriterien werden jedoch nicht ausreichend beschrieben und trennscharf verwendet (vgl. z. B. Wandmacher, 1993). Für die Evaluation eines Fluglotsen-HMI ist daher eine präzise Operationalisierung der Kriterien notwendig, um die Zielerreichung zuverlässig überprüfen zu können.

Sicherheit

Sicherheit ist in der Flugsicherung ein wesentliches Bewertungskriterium, und ergibt sich zumindest teilweise aus dem Verhalten der Menschen im System (Hofinger, 2008). Prinzipiell werden heute zwei Sichtweisen auf den so genannten „Human Error“ unterschieden: Die alte Perspektive sieht Fehler als Ergebnis eines häufig linearen Prozesses bzw. als Aneinanderreihung von Ereignissen (vgl. z. B. Dekker, 2006; Hollnagel, 2006; Perott et al., 2012). Als häufigste Ursache von Systemfehlern wird menschliches Versagen identifiziert. Das Gesamtsystem an sich wird als sicher betrachtet und Fehlfunktionen werden dem Menschen zugeschrieben. Indem der Verursacher des Fehlers, d. h. der falsch handelnde Mensch, aus dem System entfernt oder zumindest bestraft wird, sollen zukünftige Fehler vermieden werden. Die neue Perspektive (z. B. Dekker, 2006; Isaac et al., 2002b) sieht Fehler dagegen als Symptom eines fehlerhaften Systems und als prinzipiell normale Ereignisse in einem komplexen System. „In this view failure is the flip side of success, and therefore a normal phenomenon“ (Hollnagel, 2006, S. 14). Die Ursache liegt nicht im Menschen, sondern in einer unglücklichen Kombination mehrerer Bedingungen, und kann nur durch die Betrachtung und Veränderung des gesamten Systems bearbeitet werden (vgl. auch Kapitel 3.2.4).

Dennoch spielt die Bediensicherheit eine wesentliche Rolle. Fehlerhafte Eingaben können ein Sicherheitsrisiko darstellen und sind nicht akzeptabel. Dabei geht es nicht um absichtliche Fehleingaben durch den Nutzer, sondern um unbeabsichtigte Fehler bzw. eine Abweichung von

einem gewünschten Handlungsziel (Hofinger, 2008), beispielsweise durch Auswahl eines falschen Bedienfelds oder eine Eingabe außerhalb des ausgewählten Bedienfelds. Gründe für solche Bedienfehler liegen häufig in einer schlechten Passung von Eingabemittel und grafischer Gestaltung, z. B. zu geringe Größe eines Bedienfelds (vgl. König, et al., 2011), in nicht bekannten Handlungsalternativen oder mangelnden kognitive Ressourcen des Nutzers (vgl. Schlick et al., 2010). Dahm (2006) unterscheidet zwischen intellektuellen Fehlern, flexiblen Handlungsmustern und sensumotorischen Fehlern. Eine ähnliche Unterscheidung von Fehlern in der wissens-, regel- und fertigkeitsbasierter Ebene nimmt Rasmussen (1983) vor. Zapf et al. (1989) führen systematische Fehler auf Routinen und Heuristiken der menschlichen Informationsverarbeitung zurück, welche vielmehr Symptome einer mangelnden Anpassung des Gesamtsystem (Mensch, Aufgabe und Computer) darstellen als Fehlfunktion des menschlichen Teilsystems. Systematische Fehlbedienungen können und müssen durch eine geeignete HMI-Gestaltung verhindert werden, so dass der Nutzer seine Handlungsabsicht im realen Nutzungskontext zuverlässig umsetzen kann.

Als Bewertungskriterium für ein HMI kann somit die Sicherheitsförderlichkeit hinzugenommen werden, umgesetzt durch eine geeignete visuelle Darstellung von Informationen, einer guten Passung von Eingabemittel und Gestaltung, das Vermitteln von Handlungsalternativen und eine möglichst geringe Ressourcenbeanspruchung.

User Experience

User Experience als Wahrnehmungen und Reaktionen einer Person bei der Interaktion mit einem HMI ist im Gegensatz zur Usability gerichtet, d. h. neben ihrer Höhe ist auch ihre Ausprägung (positiv oder negativ) zu berücksichtigen (vgl. DIN EN ISO 9241-210). Es besteht noch keine Einigung darüber, ob sie ein eigenes Konstrukt ist oder lediglich eine Erweiterung des Usability-Begriffs darstellt (z. B. Jordan, 1998b). Memmel et al. (2007, S. 176) stellen fest, dass Produkte auch bei geringer Usability eine hohe Nutzerakzeptanz erreichen können, sofern die Bedienfreude (joy of use) hoch ist. DIN EN ISO 9241-210 weist darauf hin, dass Kriterien der Gebrauchstauglichkeit auch zur Beurteilung der User Experience angewendet werden können, und stellt diese damit in einen engen Zusammenhang. Kritisiert wird außerdem die unklare Definition und damit mangelnde wissenschaftliche Verwertbarkeit des Konstrukts (z. B. Mahlke, 2008; Jetter, 2006). Insbesondere bei Anwendungen im beruflichen Kontext stellt sich außerdem die Frage, ob eine hohe positive User Experience notwendig oder wünschenswert ist. Andererseits kann ein positives Erleben die Motivation zur Ausführung der Arbeitstätigkeit oder zur Beschäftigung mit den Möglichkeiten des HMI sowie den Lernerfolg möglicherweise fördern (z. B. Memmel et al., 2007; Shneiderman & Plaisant, 2005; Hassenzahl, Burmester & Koller, 2003).

Akzeptanz

Ein weiteres Bewertungskriterium ist die Akzeptanz des HMI durch den Nutzer. Auf welche Weise Akzeptanz im Umgang mit einem HMI entsteht bzw. welche Auswirkung vorhandene oder auch fehlender Akzeptanz auf die Gebrauchstauglichkeit hat, ist Gegenstand einiger Forschungsarbeiten und Projekten (z. B. Dethloff, 2004; Milchrahm, 2002; Kassner & Vollrath, 2006; Kauer, Schreiber, Hakuli & Bruder, 2010). So gibt es Hinweise, dass die Akzeptanz von interaktiven Systemen durch Partizipation erhöht wird (Jackson, 1980). Eine wesentliche Frage für die Entwicklung von HMI in der Flugsicherung ist jedoch, ob HMI in der Flugsicherung akzeptiert werden müssen, oder ob bei einem Arbeitsmittel dieses Kriterium nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Ästhetik

Neben der Gebrauchstauglichkeit kann die visuelle Ästhetik als Bewertungskriterium gelten. Sie bezeichnet ein „unmittelbar eintretendes, positiv bewertetes, auf ein Objekt bezogenes Erlebnis“ (Thielsch & Moshagen, 2011, S. 260), im Sinne eines „subjektiven Wohlgefallens“ des externen Objekts. Als Faktoren wurden Einfachheit, Vielseitigkeit, Farbigkeit und Kunstfertigkeit identifiziert. Tullis (1988, S. 382) schlägt als Maße für Ästhetik bei alphanumerischen Displays „overall density“, „local density“, „grouping“ und „layout complexity“ vor. Zur Integration entwickelten Ngo, Teo und Byrne (2000) eine Methode zur Messung der wahrgenommenen Struktur bei so genannten Multi-Screen HMI (Kombination aus Text, Grafik und Bildern). Dabei werden vierzehn Maße automatisch erfasst und ihr „optische Gewicht“ (optical weight) bewertet (S. 4), um so eine messbare Größe für allgemein bekannte, jedoch empirisch nicht ausreichend belegte Prinzipien wie beispielsweise den Gestaltprinzipien zu finden. Allerdings reichen die Verteilung und optischen Gewichtung der einzelnen Elemente allein nicht aus, zudem auch Farbe, Größe, Farbton und Form von Objekten, Inhalt und Sehgewohnheiten eine Rolle spielen. Thielsch und Moshagen (2011) bezeichnen Ästhetik daher als Ergebnis des Zusammenwirkens von Objekt- und Beobachtereigenschaften. Dies stellt eine große Herausforderung an die Evaluation. Die Erfüllung einer solchen Anforderung ist schwer messbar, bzw. unterliegt großen interindividuellen (und möglicherweise auch intraindividuellen) Unterschieden in der Bewertung.

Inwiefern die Ästhetik eines HMI für die Flugsicherung als Kriterium eingesetzt werden sollte, ist schwer zu bestimmen. Zwar ist sie im Vergleich zu Kriterien wie Effizienz und Sicherheit nachgeordnet. Jedoch wirkt sich die Ästhetik auf weitere Maße aus, welche durchaus relevant sind, z. B. auf Usability (z. B. Moshagen, Musch & Göritz, 2009; zitiert nach Thielsch & Moshagen, 2011; Tractinsky, Katz & Ikar, 2000) und Zufriedenheit (Cyr, Kindra & Dash, 2008). Moshagen und Thielsch (2010, S. 700) berichten eine hohe Korrelation ihrer Dimension „Einfachheit“ mit Maßen der Usability, wie beispielsweise der pragmatischen Qualität (Hassenzahl et al., 2003). Ngo et al. (2000)

identifizieren Akzeptanz (Acceptability), Erlernbarkeit (Learnability), Verständlichkeit (Comprehensibility) und Produktivität (Productivity) (S. 3, eigene Übersetzung) als wesentliche Effekte und schließt daraus eine hohe Bedeutung von Ästhetik für die Bewertung von HMI sei daher hoch, und eine objektive, automatisierte Bestimmung des ästhetischen Gehalts sei notwendig.

Betriebliche Eignung

Ein weiteres Kriterium ist die betriebliche Eignung des HMI. Diese kann sich auf unterschiedlichen Ebenen zeigen, wie z. B. die Integration in die schon vorhandene technische Umgebung, die Wartungsmöglichkeit während des laufenden Betriebs, die Passung zu den betrieblichen Abläufen und organisatorischen Erfordernissen etc. Hier sind teilweise betriebliche Regelungen und technische Spezifikationen zu berücksichtigen (z. B. Betriebsanweisung Flugverkehrskontrolle, DFS, 2008), teilweise wird auf das implizite Wissen der Anwender und Systemeinrichter zurückgegriffen.

3.4.4 Methoden

Zur Evaluation visueller HMI können unterschiedliche Methoden eingesetzt werden (vgl. z. B. Sarodnick & Brau, 2006; Zimmermann & Grötzbach, 2007; Nielsen, 1993), abhängig von der jeweiligen Einsatzphase, dem Einsatzzweck und der Verfügbarkeit von Anwendern und Experten. Bei der Auswahl einer geeigneten Methode sind Kriterien wie Reliabilität, Validität, Objektivität, Ökonomie, Nützlichkeit, vollständige Erfassung aller relevanten Merkmale, zugrunde liegende theoretische Modellvorstellung und die Möglichkeit einer anwendungsorientierten Ergebnisinterpretation zu berücksichtigen (z. B. Schmidtke, 1976). Weitere Kriterien für eine geeignete Methode sind nach Gieth et al. (1996) außerdem Sekundärnutzen (z. B. inwieweit Schwachpunkte des Produkts erkannt und korrigiert werden können), Verbindlichkeit und Reproduzierbarkeit der Aussagen (d. h. inwieweit auch mit anderem Verfahren und anderer Prüfung gleiche Ergebnisse zu erwarten sind). Die meisten etablierten Methoden eignen sich für den Einsatz im Bereich der Flugsicherung. Jedoch sind im Allgemeinen Anpassungen notwendig.

Befragung

Bei einer Befragung werden u. a. nicht direkt beobachtbare Daten wie z. B. Kognitionen, Einstellungen oder Verhaltensstrategien mündlich oder schriftlich, in einer Einzel- oder in einer Gruppensituation erhoben (Frieling & Sonntag, 1999). Bei einer mündlichen Befragung kann der Gesprächsinhalt aufgezeichnet, transkribiert und interpretiert werden, was zu einem relativ hohen Aufwand führt. Schriftliche Befragungen in Form von Fragebögen sind im Allgemeinen weniger aufwändig. Der Befragte kann sich seine Antworten sorgfältig überdenken, auftretenden Missverständnisse können jedoch nicht direkt geklärt werden.

Befragungen ermöglichen im Flugsicherungskontext die Erfassung des Informationsbedarfs, der Einstellungen, Interessen, Erfahrungen und Erwartungen eines Lotsen, aber auch von Erfahrungen, die der Entwickler nicht selbst machen kann, weil diese Situationen nicht für ihn zugänglich sind oder so selten auftreten, dass sie im Untersuchungszeitraum nicht auftreten. Ergebnisverzerrungen ergeben sich beispielsweise, wenn die Befragten absichtlich oder aus Unvermögen keine, unvollständige oder falsche Auskunft geben. Das Vertrauensverhältnis zwischen Entwicklern und Befragten sowie die Art und Weise der Datenerhebung spielen daher eine wesentliche Rolle (Frieling & Sonntag, 1999, vgl. auch König et al., 2009a).

Beobachtung

Wissenschaftliche Beobachtungen werden in der Arbeitswissenschaft in vielen Situationen und Variationen eingesetzt (Frieling & Sonntag, 1999). Ein Beobachter erfasst die visuell zugänglichen Daten eines Objekts abhängig von seinem Untersuchungsziel (Bortz & Döring, 2002). Beobachtungen werden u. a. eingesetzt, um Hypothesen zu generieren, die dann in weiteren Studien untersucht werden. Auf der Basis von Beobachtungen können gezeigtes Verhalten oder bestehende sichtbare Zustände erfasst werden. Psychische Prozesse sind nicht direkt zugänglich, sondern müssen aus den beobachtbaren Verhaltensweisen erschlossen werden (Bortz & Döring, 2002). Bei der Interpretation der beobachteten Ereignisse bezieht der Beobachter seine eigenen Erfahrungen und Erwartungen ein.

In der Flugsicherung ist ein grundlegendes Verständnis der beobachteten Vorgänge und zugrunde liegenden Regeln für die Zuordnung und Interpretation der Beobachtungen notwendig (Frieling & Sonntag, 1999). Bei einer direkten, teilnehmenden Beobachtung ist der Beobachter Teil einer sozialen Situation und beeinflusst diese dadurch, was bei der Auswertung berücksichtigt werden muss. Speziell in der Flugsicherung ist auch eine Fremdbewertung durch erfahrene Nutzer, Ausbilder oder sonstige fachliche Experten möglich. Dies erweist sich häufig als sinnvoll, da nur diese ein tieferes und umfassendes Verständnis von der Arbeitsaufgabe und den Bedürfnissen der Nutzer besitzen.

Beobachtungsinterview

Beobachtungsinterviews kombinieren in der Regel halbstandardisierte Interviews mit halbstandardisierten direkten Beobachtungen und sind oft Grundlage für Arbeitsanalyseverfahren (Frieling & Sonntag, 1999). Dementsprechend werden sie in der Arbeitswissenschaft häufig eingesetzt, beispielsweise zur Ermittlung von Arbeitsinhalten und -abläufen, sozialen Beziehungen oder subjektiver Beanspruchung. Erhoben werden können personunpezifische Daten (Arbeitsabläufe, Ausstattung mit Arbeitsmitteln) und personspezifische Daten (Einstellungen, Wahrnehmung und Bewertung der Arbeitsumgebung und Arbeitsmittel).

Beobachtungsinterviews werden vor allem in der qualitativ orientierten Forschung bei kleinen natürlichen Stichproben eingesetzt und eignen sich häufig gut zur Evaluation von HMI in der Flugsicherung (vgl. Dunkel, 1999; König et al., 2009a). Dem Versuchsleiter werden die mentale Prozesse der HMI-Nutzer besser zugänglich, sofern diese Prozesse dem Befragten bewusst sind und er fähig und bereit ist, diese mitzuteilen. So können nicht direkt beobachtbare Informationen wie beispielsweise die Einschätzungen und Meinungen der Lotsen bezüglich eines HMI, aber auch persönliche Strategien zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe, Begründungen des gezeigten Verhaltens etc. erfasst werden. Beobachtungsinterviews ermöglichen die direkte Überprüfung der durch die durch Beobachtung entstandenen Hypothesen sowie die Klärung aufkommender Fragen innerhalb der Situation (vgl. König et al., 2009a). Der Beobachter kann so ein tiefergehendes Verständnis erlangen und auf spezielle Bedingungen und individuelle Bedürfnisse des Lotsen eingehen. Durch die enge Kommunikationssituation kann außerdem eine konstruktive Beziehung zwischen Entwicklern und zukünftigen Nutzern entstehen, welche dem Produktentwicklungsprozess und der Produktqualität zugute kommt. Eine Verallgemeinerung der Erkenntnisse auf eine größere Population ist bei kleinen Stichprobe jedoch nicht möglich. Daher muss in jedem Fall abgewogen werden, ob ein Beobachtungsinterview die geeignete Methode ist, um die jeweiligen Forschungsfragen zu klären. Auch muss berücksichtigt werden, dass äußere Faktoren wie z. B. die aktuelle Verkehrssituation am Flughafen sowie das intensive Eingehen auf die jeweilige Situation und Befragten die Bedingungen der Datenerhebung so stark verändern können, dass eine Übertragbarkeit auf andere Verkehrssituationen und Bedingungen nicht möglich ist. Erfolgt die Datenerhebung während der Tätigkeit des Probanden (vgl. König, Hofmann, Bergner & Bruder, 2008b), ist dies ein Eingriff in den natürlichen Arbeitsablauf des Befragten. Da jedoch insbesondere bei Tower-Fluglotsen die Interaktion mit anderen Personen (Funk, persönlich) im Arbeitsalltag üblich ist, ist die Beeinträchtigung im Vergleich zum großen Nutzen der gewonnenen Daten als gering einzuschätzen.

Thinking Aloud

Thinking Aloud nutzt die laut ausgesprochenen Gedanken der Probanden beim Umgang mit einem HMI (ISO TR 16982; Kallus et al., 1998) und verspricht so einen guten Zugang zu den internalen Prozessen, der bei einer Beobachtung so nicht möglich ist. Jedoch unterliegen die Gedanken einer starken Filterung und Verzerrung (z. B. Nisbett & Wilson, 1977), zum Teil bewusst, weil der Proband nicht alle Gedanken offenlegen möchte, zum Teil unbewusst, da nicht alle Gedächtnisinhalte und Informationsverarbeitungsprozessen dem bewussten Denken zugänglich sind (vgl. z. B. Anderson & Funke, 2007). Das Aussprechen eines Gedanken hemmt die Entwicklung weiterer Gedanken, verändert die Aufmerksamkeit des Nutzers und wirkt sich auf Körperhaltung, Blickverhalten etc. aus.

Zur Entwicklung von HMI kann Thinking Aloud eingesetzt werden, um zu überprüfen, ob das Systemverhalten den Erwartungen des Nutzers entspricht, ob es verständlich ist oder inwieweit die benötigten Informationen in der aktuellen Situation vorhanden sind (vgl. Kallus et al., 1998). Allerdings beinhaltet die Tätigkeit des Tower-Fluglotsen auch verbale Kommunikation, welche mit dem lauten Denken kollidieren könnte, bzw. stehen die zum lauten Aussprechen benötigten kognitiven Ressourcen nicht mehr für die Tätigkeit zur Verfügung. Unterbrechungen können im realen Arbeitskontext eines Fluglotsen problematisch sein, in der Simulation wird dadurch zumindest das natürliche Verhalten verfälscht.

Experimentelle Untersuchung

Ein psychologisches Experiment ist definiert als eine „planmäßige Manipulation von Variablen zum Zwecke der Beobachtung unter kontrollierten Randbedingungen (Rehm & Strack, 1994, S. 510-511) bzw. eine systematische Variation der Bedingungen und Betrachtung der Auswirkungen unter Kontrolle weiterer Einflussfaktoren in einer bewusst hergestellten Versuchsumgebung (Westermann, 2000). Ziel ist das Aufdecken kausaler Zusammenhänge bzw. die empirische Überprüfung wissenschaftlicher Kausalhypothesen (Westermann, 2000). In einem Laborexperiment können die Bedingungen gut kontrolliert werden, während in quasi-experimenten Feldstudien Störfaktoren die Ergebnisse beeinflussen können.

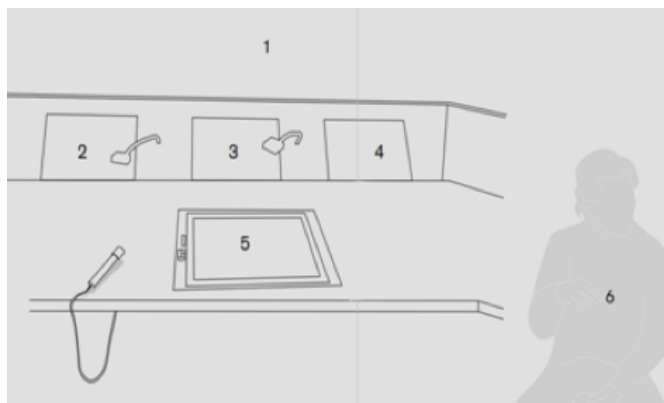
Experimente haben in der Flugsicherung Tradition und tragen wesentlich zum Erkenntnisgewinn bei. Untersuchungsgegenstand sind beispielsweise die Informationsaufnahme und -verarbeitung von Fluglotsen, insbesondere Reaktionszeit (z. B. Tavanti, Le-Hong & Dang, 2003), die mentale Repräsentation von Verkehrssituationen (z. B. Möhlenbrink, Friedrich & Papenfuß, 2009) oder das Schätzen von Entfernungen und Geschwindigkeiten (z. B. Wickens, 1995).

Simulation

Simulationen als spezifische Form einer experimentellen Untersuchung sind in der Flugsicherung etabliert. In einer Simulation können Situationen immer wieder reproduziert, konstant gehalten und einzelne Variablen systematisch variiert werden, so dass eine Veränderung der abhängigen Variablen auf die Variation der unabhängigen zurückgeführt werden kann (experimentelles Setting, vgl. Westermann, 2000; Wandmacher, 2002). Kritische Situationen können bewusst hervorgerufen, Nutzer an ihre Kapazitätsgrenze gebracht oder absichtlich Fehler oder Fehlfunktionen verursacht werden (z. B. durch schrittweise Erhöhung des Traffic), um nonkonformes bzw. systemkonformes Verhalten der Probanden ohne Risiko zu provozieren und das Zusammenspiel des menschlichen und technischen Teilsystems zu beobachten. Im Gegensatz zu einer realen Situation können in einer Simulation Prozesse unterbrochen und nach einer Datenerhebung (z. B. Situation Awareness, aktu-

elle psychische Beanspruchung oder Zufriedenheit mit dem Produkt) wieder aufgenommen werden. Auch können so neue Prozeduren und Setting erprobt (z. B. neue An- und Abflugverfahren, vgl. König et al., 2008b, König et al., 2009b) und der Unterstützungsbedarf der Lotsen in zukünftigen Situationen erfragt werden werden.

Für Simulationen zur Evaluation von HMI für Tower-Fluglotsen gibt es unterschiedliche Lösungen. Der TOSIM Tower-Simulator der DFS (DFS, 2010) verfügt beispielsweise über eine 360°-Projektion, so dass die Außensicht realitätsgetreu dargestellt werden kann. In der Mitte des Raumes befinden sich die umrüstbaren Arbeitskonsolen der Fluglotsen, so dass unterschiedliche Tower abgebildet werden können. Pseudo-Piloten steuern die Flugzeuge am Rechner und übernehmen den Funkverkehr. Für besonders authentische Szenarien kann der Tower-Simulator mit einem Apron- und Approach-Simulator verbunden werden, wodurch eine realistische Übergabe der Flugzeuge ermöglicht wird. Abbildung 13 zeigt ein Beispiel für die Anordnung von Anzeigen im TOSIM (Lenz, 2009).



1. Außensicht: realitätsnahe 3D Simulation
2. Wetteranzeige: Monitor mit Wetterinformationen und Bahnzuständen
3. Luftlageradar: Darstellung des Luftraums
4. Bodenlage: Darstellung der Bodenlage
5. Planungsanzeige
6. Kollegen / Umgebung

Abbildung 13: Anordnung von Anzeigen im TOSIM

Der TOSIM wird für die Forschung sowie die Aus- und Weiterbildung der Lotsen eingesetzt. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) verfügt ebenfalls über einen hochentwickelten Simulator für unterschiedliche Fragestellungen (Kaltenhäuser, 2003). Für weniger komplexe Forschungsfragen und Szenarien können einfachere Simulatoren eingesetzt werden, welche auf kommerzielle oder freie Software zurückgreifen. Die Gestaltung des Simulators reicht dabei von einfachen Rechner-Arbeitsplätzen für eine Person bis hin zu einer detailliert ausgestatteten und vernetzten Versuchsumgebung. Ein einfacher Tower-Simulator für zwei Lotsen (Roll- und Platzlotse) wurde beispielsweise am Institut für Arbeitswissenschaft aufgebaut (vgl. Röbig et al., 2010b). Gemeinsam mit dem Institut für Kognitive Psychologie der Technischen Universität Berlin sowie dem Institut für Luftfahrt und Logistik der Technischen Universität Dresden entstand außer-

dem ein Aufbau für eine räumlich verteilte Simulation mit einem Lotsen und bis zu drei Piloten. Mit zunehmender Komplexität eines Simulators steigt die Realitätsnähe und die Übertragbarkeit auf reale Bedingungen, jedoch sinkt die Kontrollierbarkeit der Situation. Jede getroffene Entscheidung des Probanden wirkt sich auf den weiteren Verlauf der Simulation, seine weiteren Optionen und Entscheidungen aus. Bietet eine Simulation viele Wahlmöglichkeiten für den Probanden, kann das dazu führen, dass jeder einzelne Simulationsdurchlauf individuell verläuft, so dass sich die Erfahrungen der einzelnen Probanden und damit auch die Bewertungen des HMI unterscheiden.

Im Vergleich zur Realität beinhaltet eine Simulation besondere Umgebungsbedingungen. So sind die Lichtverhältnisse mit künstlicher Beleuchtung statt Tageslicht nicht mit denen in einem Tower vergleichbar. Um die Projektion der Außensicht gut erkennen zu können, wird das Raumlicht häufig abgedunkelt, so dass im Simulatorraum Dämmerlicht herrscht, welches die visuelle Wahrnehmung erschwert (skotopisches Sehen, vgl. Schmidt & Schaible, 2006) und zu Blendung bei hellen Displays führen kann. Unterscheiden sich Anordnung und Ausstattung der Arbeitsplätze von denen im Tower, sind die erlernten Blick- und Bedienstrategien des Lotsen nicht mehr angemessen und müssen für die Simulation angepasst werden. Durch den erhöhten Orientierungsbedarf wird eventuell mehr Zeit für gewohnte Tätigkeiten und Arbeitsabläufe benötigt, so dass beispielsweise die Leistungsdaten nicht realistisch sind.

3.4.5 Abstraktionsebenen und Realitätsgrad

Eine wesentliche Frage beim Einsatz von Laborexperimenten und Simulationen ist, ob man diese tatsächlich nutzen darf, um die Gebrauchstauglichkeit eines Produkts zu bestimmen bzw. inwieweit man von den Simulationsergebnissen auf die Realität schließen darf, da insbesondere Laborexperimente im Vergleich zur Realität stark vereinfacht sind und die Komplexität des Systems nicht abbilden. Luczak (1975) ordnet unterschiedliche Realitätsgrade im Simulationskontinuum an, von reinem Feld und Feldstudien über Simulationen und Simulationsexperimente bis zu Laborstudien in unterschiedlicher Form. Der Grad der Übertragbarkeit ist abhängig von der Art des gewählten Kontinuums bzw. dem Realitätsgrad. Gleichzeitig weisen Situationen mit höherem Realitätsgrad eine geringere Kontrollierbarkeit und Reproduzierbarkeit auf, was die Untersuchung des Einflusses von Variablen erschwert. Simulationen bilden nach Luczak (1975) einen guten Kompromiss zwischen Reproduzierbarkeit und der Übertragbarkeit von Ergebnissen (Abbildung 14, vgl. auch Kaltenhäuser, 2003). Sie ermöglichen die Evaluation neuer Technologien in einem kontrollierten, geschützten Rahmen bei gleichzeitig zumindest grundlegender Übertragbarkeit (Röbiger et al., 2010b).

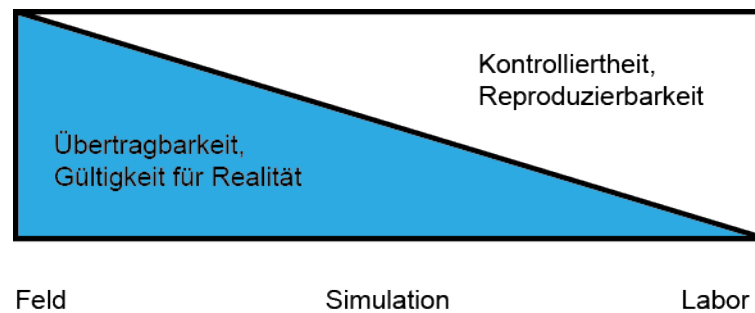


Abbildung 14: Simulationskontinuum, stark vereinfacht nach Luczak (1975, S. 59)

Zudem liegen die HMI je nach Prozessfortschritt in unterschiedlichem Detaillierungs- bzw. Reifegrad vor. Zu Beginn sind unter Umständen nicht alle Funktionalitäten und Gestaltungselemente realisiert, die man in unter realen Bedingungen benötigt, um die Arbeitsaufgabe zu erfüllen. Daher muss berücksichtigt werden, bei welchem Reifegrad des HMI eine Evaluation auf welcher Abstraktionsebene möglich ist. Eventuell eignen sich in frühen Projektphasen Workshops, Befragungen oder einfache Experimente eher zur des HMI als aufwändige Simulationen. Zu berücksichtigen ist außerdem, dass durch die Realitätsnähe in der Simulation auch hohe Erwartung an Aussehen und Funktionalität eines Prototypen gestellt werden (McCurdy et al., 2006). Werden diese enttäuscht, kann dies zur Ablehnung durch die Probanden führen (vgl. Kapitel 3.3.6). Weiter stellt sich die Frage, wie man von den Erkenntnissen in einer Situation bzw. auf einer Abstraktions-ebene auf die anderen Ebenen schließen kann. Bauschat (2008) berichtet für Pilotenaufgaben eine schlechtere Leistung im Bewegungssimulator als in Festsitzsimulator und Flugversuch. Hier zeigt sich, stellvertretend für viele ähnliche Studien, dass die Übertragbarkeit von Erkenntnissen aus Experimentalsettings mit unterschiedlichen Realitätsgraden nicht einfach möglich ist. Auch erschweren Unterschiede zwischen subjektiver und objektiver Bewertung einer Situation häufig die Evaluation. Dies trifft insbesondere für die Bewertung von Tätigkeiten und Situationen zu, bei denen die nicht direkt zugänglichen mentale Prozesse im Vordergrund stehen.

3.4.6 Fazit Phase 4: Evaluation

Die Evaluation als vierte Aktivität ist wesentlich, um die Erfüllung der Anforderungen zu überprüfen und zu entscheiden, ob das Projektziel erreicht und die Entwicklung des HMI abgeschlossen ist. In dieser Phase ist die Partizipation der Anwender besonders wichtig, um realistische Aussagen über die Qualität des HMI und die zukünftige Nutzung zu erhalten. Gleichzeitig kann die Partizipation die Akzeptanz des Produkts fördern und Vorbehalte gegenüber der Veränderung abbauen.

Im Nutzungskontext Flugsicherung beinhaltet diese Aktivität jedoch besondere Herausforderungen,

da viele Methoden nur eingeschränkt anwendbar sind bzw. an die jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden müssen. Dies ergibt sich zum einen aus der mangelnden Zugänglichkeit von Informationen, z. B. bei prozeduralisierten Handlungen (vgl. Anderson & Funke, 2007) oder sozialer Erwünschtheit der Antworten (vgl. Thomas, 1991), zum anderen aus der hohen Komplexität des Arbeitssystems, welche die Berücksichtigung bzw. Kontrolle vielfältiger Variablen erforderlich macht. Entwicklungsgrad und Realitätsnähe müssen abgestimmt werden, da z. B. die komplexen, realitätsnahen Aufgaben im Simulator mit einem einfachen Funktionsprototypen nicht bearbeitet werden können. Umgekehrt kann ein Laborexperiment nicht alle Bedingungen abbilden, die ein komplexes HMI erfüllen muss, um für die Aufgabe geeignet zu sein. Zu Problemen kann auch die Komplexität des Gesamtsystems führen, da eine Handlung Auswirkung an unterschiedlichen Stellen haben kann. Wird die Testumgebung vereinfacht, ist das System nicht korrekt abgebildet und kann sich ganz anders verhalten. Besonders in Simulationen können auch viele Störgrößen (z. B. unterschiedlicher Verlauf, Rechnerprobleme, Erfahrungen und Erwartungen der Probanden) auftreten, so dass einzelne Simulationsruns nicht miteinander vergleichbar sind. Auch kurze Unterbrechungen der Probanden während einer Simulation erschweren die Beurteilung des HMI und die Ausführung der Tätigkeit, da der Lotse bei der Wiederaufnahme seiner Arbeitstätigkeit das mentale Bild der Verkehrssituation wieder aktualisieren muss, was zu einem zusätzlichen kognitiven Aufwand und einem zeitweise nicht aktuellen Bild führt (z. B. Göbel, Stallkamp, Springer & Luczak, 1994, vgl. auch Kapitel 3.1.2). Ein weiteres Problem liegt in der geringen Stichprobengröße von Untersuchungen, da die Anwendungen häufig spezifisch, die Nutzergruppe klein und zeitlich schlecht verfügbar ist. Dies schränkt Methodenwahl und Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf andere Kontexte ein. Im Verhältnis dazu sind die Kosten für konventionelle Prototypen und die benötigten Ressourcen für experimentelle Studien bzw. Simulatorstudien hoch. Ein Einsatz anderer Personen ist jedoch schwierig aufgrund der anspruchsvollen Aufgaben der Fluglotsen, welche nicht ohne Training ausführbar sind. Eine Lösung zur Reduktion des Aufwands sind verteilte Simulationen, bei denen an verschiedenen Orten Arbeitsplätze aufgebaut und für eine Simulation zusammengeführt werden, so dass Reisekosten und -aufwände verringert werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Erstellung eines interaktiven Prototyps, mit dem Anwender die Funktionalitäten und Gestaltungslösungen kennenlernen und diskutieren können, so dass gravierende Probleme schon vor einer aufwändigen Simulation erkannt und behoben werden können. Bei der Evaluation müssen daher Kosten und Nutzen der einzelnen Methoden abgewogen und ggf. geklärt werden, an welcher Stelle günstigere Alternativen (z. B. Befragungen statt Simulation, Einsatz von Lotsen in der Ausbildung oder Studenten mit Flugerfahrung statt ausgebildeter Fluglotsen) akzeptabel sind.

4 Anwendungsbeispiele aus Projekten

Um die Eignung des Vorgehens nach DIN EN ISO 9241-210 zur Entwicklung von HMI in der Flugsicherung zu klären, werden im Folgenden mehrere Fallstudien vorgestellt und anhand dieser Vor- und Nachteile des Vorgehens diskutiert. Zunächst wird jedoch der Aufbau und das Beschreibungsprinzip der einzelnen Fallstudien betrachtet.

4.1 Prinzip

Alle Fallstudien werden nach dem in DIN EN ISO 9241-210 beschriebenen Vorgehen strukturiert. Dies bedeutet, dass die vier Aktivitäten mehrfach durchgeführt werden bis zum finalen, evaluierten Gestaltungsentwurf. Abbildung 15 stellt diesen Ablauf schematisch dar. Ein Kästchen repräsentiert eine Aktivität, die Buchstaben bezeichnen die spezifische Aktivität (n = Analyse des Nutzungskontexts, a = Anforderungsanalyse, g = Entwickeln einer Gestaltungslösung, e = Evaluation), die Ziffern den Durchgang (1 für die erste Runde, 2 für die zweite Runde, ...). Ein Projekt beginnt damit üblicherweise mit „n.1“, wenngleich bei einigen Projekten Vorarbeiten angefertigt wurden, welche in diesem Schema dann mit „0“ bezeichnet werden. „n.1“ steht somit für die erste Nutzungskontext-Analyse, „e.3“ für die dritte Durchführung einer Evaluation. Die kaskadenförmige Darstellung vermittelt das prinzipielle Aufeinanderfolgen der vier Aktivitäten, Überschneidungen sind dabei möglich. Jede Fallstudie bildet einen Teil des Vorgehens ab, so dass unterschiedliche Aspekte des Vorgehens beleuchtet werden. So ermöglicht beispielsweise die mehrfache Iteration aller Aktivitäten einen groben Überblick über den gesamten Entwicklungsprozess (a), von der Ausgangssituation über das Vorgehen bis zum finalen Designergebnis. Das Verfolgen einer spezifischen Aktivität über mehrere Iterationsrunden (b) ermöglicht es, die Entwicklung von einer Phase zur nächsten genauer zu betrachten. Bei der detaillierten Betrachtung einer einzelnen Aktivität zu einem Zeitpunkt (c) kann dagegen intensiver auf die Eigenheiten der Aktivität eingegangen werden.

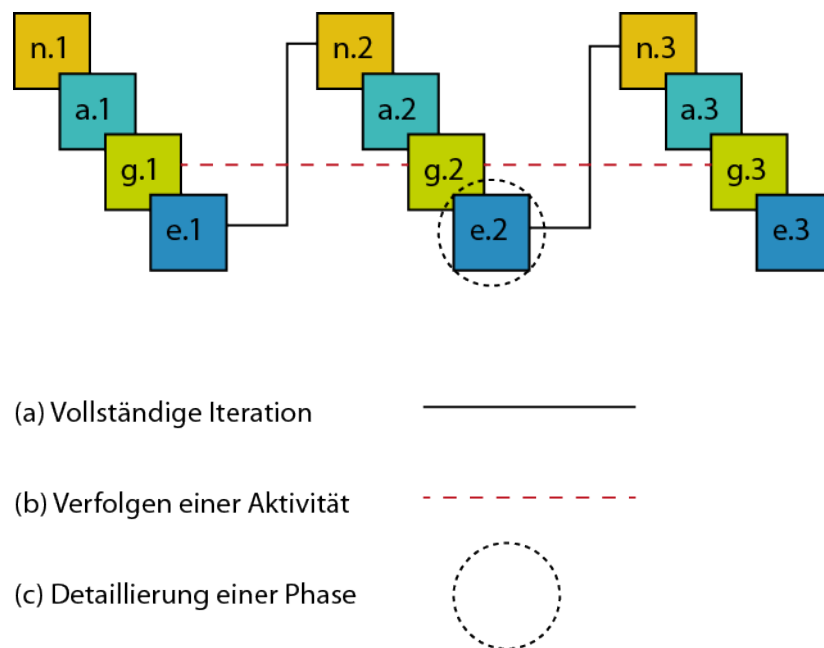


Abbildung 15: Prinzip der Fallstudien

Jede Aktivität setzt sich aus mehreren Einzelaktivitäten zusammen (Abbildung 16). So können Anforderungen systematisiert und gruppiert werden, der Nutzungskontext beinhaltet die Aspekte Mensch, Eigenschaften, Aufgaben und Umgebungsbedingungen. Bei der Evaluation können die Aspekte einzelne Erhebungen darstellen, oder auch einzelne Messvariablen. Auch die Gestaltung lässt sich in mehrere Elemente unterteilen, wie beispielsweise einzelne Komponenten des HMI (Eingabe und Ausgabe, Bildschirmaufbau, einzelne Elemente, ...). Diese Zerlegung ermöglicht die Betrachtung einzelner Aktivitäten, Elemente oder Aspekte für sich bei der Beschreibung und grafischen Darstellung des Vorgehens sowie die Beobachtung ihrer Entwicklung über den Projektverlauf. Sie wird mit einer angehängten zweiten Zahl gekennzeichnet.

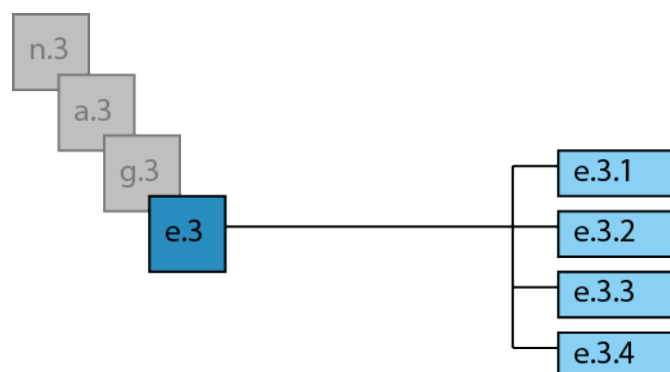


Abbildung 16: Aktivität und Einzelaktivitäten

Nachfolgend werden drei Fallstudien vorgestellt. Jede Beschreibung beginnt mit der Ausgangssituation und dem Projektziel sowie der Einordnung in das Vorgehen nach DIN EN ISO 9241-210. Anschließend werden das Vorgehen und die Inhalte erläutert. Jede Fallstudie endet mit einer Zusammenfassung der Erkenntnisse, die sich aus der Anwendung des Vorgehens ergeben.

4.2 Fallstudie 1: Planungstool

In der ersten Fallstudie werden alle Aktivitäten ein Mal vollständig durchlaufen und anschließend wiederholt. Die Fallstudie zeigt damit Ausgangssituation und mehrfache Iteration in einem Projekt bis zum finalen Gestaltungsentwurf.

4.2.1 Ausgangssituation und Ziel des Projekts

Das Projekt beinhaltete die Entwicklung und Umsetzung eines Planungstools, welches Tower-Fluglotsen von Regionalflughäfen die gleichzeitige Kontrolle von bis zu drei Flughäfen ermöglichen sollte (vgl. Oehme & Schulz-Rückert, 2010; König et al., 2012). Das Softwaretool sollte die geplanten Flugbewegungen übersichtlich darstellen und dem Lotsen eine Anpassung der Flugpläne in Echtzeit ermöglichen. Dazu mussten zukünftige Konflikte (d. h. gleichzeitige Kontrollaktivitäten bzw. benötigte Freigaben an zwei oder drei Flughäfen) visualisiert werden, so dass sie der Lotse deutlich erkennen und eine Lösung entwickeln kann. Durch eine Interaktion (Eingabe) sollte der Lotse die Konfliktlösung dokumentieren, z. B. durch eine zeitliche Verschiebung der Flugaktivitäten oder die Abgabe eines gesamten Flughafens an einen Kollegen (Remote-Lotse). Ziel des Entwicklungsprozesses war die Entwicklung und Erstellung eines Flash-Demonstrators, welcher in Realzeitsimulationen zur Untersuchung der Betriebskonzepte eingesetzt werden kann. Dieses Ziel warf zahlreiche Gestaltungsfragen auf, welche im Projekt geklärt werden sollten.

Das beschriebene Projekt war Teil des Verbundprojekts Innovativer Airport (iPort), welches im Rahmen des 4. Luftfahrtforschungsprogramms des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert wurde. Das Planungstool entstand im Teilprojekt „Rollführung“ im Unterauftrag der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (Bereich Tower). Das Projektteam des Instituts für Arbeitswissenschaft bestand aus drei Personen aus den Bereichen Design, Programmierung und Ergonomie.

HMI-Design: Thomas Hofmann; Programmierung: Tom Kamender

Projektlaufzeit: 3/2011 – 8/2011

4.2.2 Prinzip

Die ausgewählten Daten illustrieren ein mehrfaches Durchlaufen der Aktivitäten, d. h. mehrere Iterationen. Abbildung 17 zeigt das Prinzip.

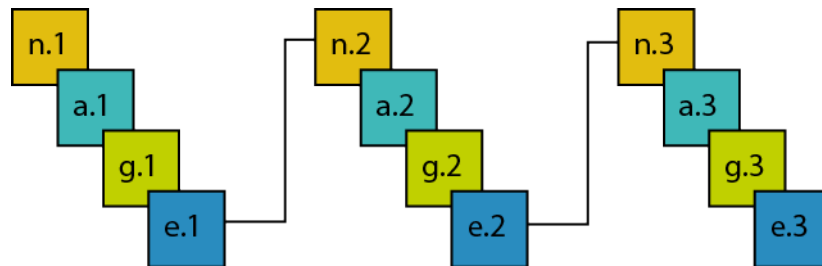


Abbildung 17: Fallstudie 1 - Prinzip

4.2.3 Vorgehen und Inhalte

Phase 0: Planung

Vor Beginn des Entwicklungsprozesses wurden die Projektplanung erstellt, Meilensteine und Termine abgestimmt sowie verfügbare Ressourcen bestimmt. Dabei wurde insbesondere die Partizipation zukünftiger Nutzer bedacht. Denn die Anwender sind hoch spezialisiert und trainiert auf ihren Arbeitsbereich, Systemkomponenten werden teilweise speziell für einen Tower entwickelt, mindestens jedoch angepasst. Die Nutzergruppe für ein HMI ist klein, ihre zeitliche Verfügbarkeit jedoch schwierig. Der Entwicklungsaufwand für ein HMI ist entsprechend hoch, und nicht immer sind genügend Nutzer verfügbar für eine aufwändige, quantitative Studie. In der Planungsphase wurde daher entschieden, die Nutzerintegration durch Teilnahme aktueller und ehemaliger Lotsen an Projektbesprechungen zu realisieren. Außerdem wurde auf die Erfahrung eines Operation Managers zurückgegriffen.

Runde 1

In der ersten Runde wurden alle vier Aktivitäten des menschenzentrierten Gestaltungsprozesses vollständig durchgeführt.

1. Aktivität: Nutzungskontext (n.1)

Bei der erstmaligen Erhebung des Nutzungskontexts mussten Nutzergruppe, Ziele und Aufgaben sowie Umgebungsbedingungen identifiziert und beschrieben werden. In diesem Projekt bestand die potentielle Nutzergruppe prinzipiell aus Tower-Fluglotsen an Regional-Flughäfen in Deutschland, welche durch The Tower Company betrieben werden, einer Tochter der DFS Deutsche Flugsiche-

rung GmbH (vgl. König et al., 2012). Alle Nutzer waren ausgebildete Fluglotsen mit einer Lizenz für mindestens einen Regional-Flughafen (z. B. Dortmund) im Alter zwischen 20 und 55 Jahren. Gedächtnisleistung, Konzentrationsfähigkeit, mentale Stabilität und Stressresistenz wurden als überdurchschnittlich (vgl. Heintz, 1998) angenommen und gravierende physische Einschränkungen ausgeschlossen. Ihre Tätigkeit basiert auf Fakten, Regeln und Vorschriften. Sicherheit hat höchste Priorität, so dass Entscheidungen konservativ getroffen werden (vgl. König et al., 2009b). Auf kognitiver Ebene umfassen die Aufgaben der Lotsen u. a. räumliche Orientierung und selektive Aufmerksamkeit (Heintz, 1998). Die Aufgabe des Aufbaus und der Aufrechterhaltung der Situation Awareness auch bei hoher Informationskomplexität und Zeitdruck führt zu einem hohen kognitiven Workload (Hopkin, 1995).

Das Planungstool sollte zur Kontrolle von bis zu drei Flugplätzen eingesetzt werden und sich als eines der Arbeitsmittel am Arbeitsplatz der Master-Lotsen befinden. Die Nutzung solcher Arbeitsmittel erfolgt im Allgemeinen erst nach einem ausreichenden Training, so dass auch eine längere Einarbeitungsphase akzeptabel wäre.

2. Aktivität: Nutzungsanforderungen (a.1)

Die Überwachung und Bewertung der Verkehrssituation basiert zu einem großen Teil auf der direkten Sicht vom Tower auf das Rollfeld (Hopkin, 1995; Bachmann, 2005; Pinska, 2007; Hilburn, 2004; vgl. Kapitel 3.1). Das Planungstool musste die Überwachung und Bewertung des Verkehrs unterstützen und keinen zusätzlichen kognitiven Workload erzeugen, indem es z. B. Informationen unübersichtlich, in ungeeigneter Form, zum falschen Zeitpunkt, unvollständig etc. anbietet. Aus dem gleichen Grund waren überflüssige Informationen zu vermeiden.

Grundlage der Anforderungsdefinition bildeten sowohl die Arbeitsaufgabe der Lotsen als auch ergonomische Regeln. Dementsprechend beinhaltete eine Gruppe von Anforderungen die wesentlichen Funktionalitäten des Tools. Sie wurden in früheren Projektphasen definiert und dem Projektteam zur Verfügung gestellt. Dazu gehörten (alle Anforderungen vereinfacht dargestellt, vgl. auch Anhang):

(a.1.1) **Anzahl der Flugplätze:** Anzeige des Verkehrs für bis zu drei Flugplätze

(a.1.2) **Informationsgehalt Flugzeug:** Anzeige (aller) relevanter Informationen über ein Flugzeug (z. B. Rufzeichen, Flugroute, Slot, Flugzeugtyp)

(a.1.3) **Eingabe:** Eingabe mittels Computermaus, Tastatur oder Touch Input Device

(a.1.4) **Struktur:** Übersichtlich und klar strukturiertes HMI

(a.1.5) **Hervorhebung:** Konflikte müssen hervorgehoben werden

(a.1.6) **Konfliktlösung:** Konfliktlösung durch zeitliches Verschieben von Flügen oder Abgabe eines Flugplatzes an einen Kollegen

Eine zweite Gruppe von Anforderungen sollte die ergonomische Qualität und insbesondere die Usability des HMI sicherstellen. Diese Anforderungen wurden aus DIN EN ISO 9241-110 abgeleitet.

(a.1.7) **Aufgabenangemessenheit:** Die Anwendung soll jederzeit für jeden Flugplatz einen guten Überblick über die Verkehrssituation bieten und den Aufbau und die Aufrechterhaltung des mentalen Modells des Lotsen fördern. Die Nutzung sollte möglichst wenig Ressourcen benötigen (kognitiv, visuell, auditiv, ...) und eine schnelle und sichere Interaktion ermöglichen. Kritische Situationen sollten hervorgehoben und mögliche Lösungen angeboten werden.

(a.1.8) **Fehlertoleranz:** Die Anwendung soll vor fehlerhaften Eingaben schützen bzw. geringen Korrekturaufwand bei Fehleingaben aufweisen. Ziel ist eine intuitive und sichere Interaktion. Auswirkungen einer Eingabe sind deutlich erkennbar, werden schnell, verständlich und an der vom Nutzer erwarteten Stelle angezeigt (z. B. nahe der Eingabeposition).

(a.1.9) **Steuerbarkeit:** Es soll kein zusätzlicher Zeitdruck durch Zeitbegrenzung von Eingaben etc. produziert werden. Unterbrochene Eingaben bzw. Aufgaben können jederzeit ohne Einschränkung wieder aufgenommen werden, Interaktionen gelingen einfach und schnell.

(a.1.10) **Erwartungskonformität:** Anzeige und Eingaben erfolgen nach bekannten Prinzipien (z. B. Drag & Drop zum zeitlichen Verschieben von Flugzeugen) und sind konsistent innerhalb des Tools.

Andere Kriterien wurden als weniger relevant beurteilt und daher nicht in Anforderungen umgesetzt:

Individualisierbarkeit: Aufgrund der geringen Größe und hohen Homogenität der Nutzergruppe bzgl. ihrer Eigenschaften und Ausbildung ist der Bedarf an Individualisierung geringer als beispielsweise bei weit verbreiteter Software oder Unterhaltungselektronik. Die Handlungsmöglichkeiten der Nutzer sind beschränkt, denn sie orientieren sich an festgelegten Prozeduren und Vorgaben. Außerdem wurde das Tool nicht direkt für den Tower umgesetzt, sondern vorerst nur für die Durchführung von Simulationen, in denen ggf. dann der Bedarf an individuellen Anpassungen oder Individualisierbarkeit festgestellt wird. Für die Entwicklung eines Demonstrators wurde die Individualisierbarkeit daher als weniger wichtig erachtet.

Lernförderlichkeit: Die Nutzung des Tools im Tower würde erst nach einem intensiven Training erfolgen. Die erworbenen Fähigkeiten im Umgang mit dem Tool würden dann durch regelmäßige Nutzung aufrechterhalten werden. Die Trainingsphase in Simulationen ist naturgemäß kürzer, wird jedoch im Allgemeinen in Form einer Einarbeitungsphase so lange durchgeführt, bis ein zuverlässiger Umgang mit dem Tool möglich ist. Die Lernförderlichkeit war daher zweitrangig und konnte zugunsten anderer Anforderungen zurückgestellt werden.

Die gewählten Anforderungen sollten nun in einen oder mehrere Gestaltungsentwürfe umgesetzt und ihre Erfüllung in der Evaluationsphase überprüft werden.

3. Aktivität: Gestaltung (g.1)

Der erste Gestaltungsentwurf dient im Allgemeinen der Entwicklung des grundsätzlichen Bildschirmaufbaus sowie der Klärung der benötigten Elemente. Daher wurde zunächst eine schematische Darstellung des Bildschirmaufbaus sowie Anordnung und Gestaltung möglicher Elemente entwickelt (Abbildung 18). Die möglichen Positionen der Elemente sowie die inhaltlichen Abläufe wurden skizziert, um Inkonsistenzen und mögliche Probleme zu erkennen. Das Design der einzelnen Elemente, Farben und Größen spielte hier noch keine Rolle. Das Layout beinhaltet die Darstellung von fünf Flughäfen, welche durch Spalten und unterschiedliche Farbfelder repräsentiert werden. Die zeitliche Dimension wird durch eine vertikale Zeitleiste (Zeitleiter) vermittelt, welche den Bildschirm in einen Bereich mit drei Flughäfen (unter der Kontrolle des Lotsen) und einen Bereich mit zwei Flughäfen (unter der Kontrolle von Kollegen / Remote-Lotsen) teilt. Die Belegung eines Flughafens durch ein Flugzeug ist durch einen farbigen Kasten gekennzeichnet, welcher sich angedeutet über die weiteren Spalten erstreckt, um die Beschäftigung des Lotsen zu diesem Zeitpunkt anzuzeigen und eine mehrfache Verplanung eines Zeitbereichs (Konflikt) zu kennzeichnen. Menüfelder am rechten Bildschirmrand ermöglichen die Eingabe von Ereignissen bzw. Elementen. Die rasterförmige Aufteilung des Bildschirms und Anordnung der Elemente soll eine leichte zeitliche Zuordnung von Ereignissen sowie einen schnellen Überblick über die Belegung der einzelnen Flugplätze zu jedem Zeitpunkt ermöglichen.

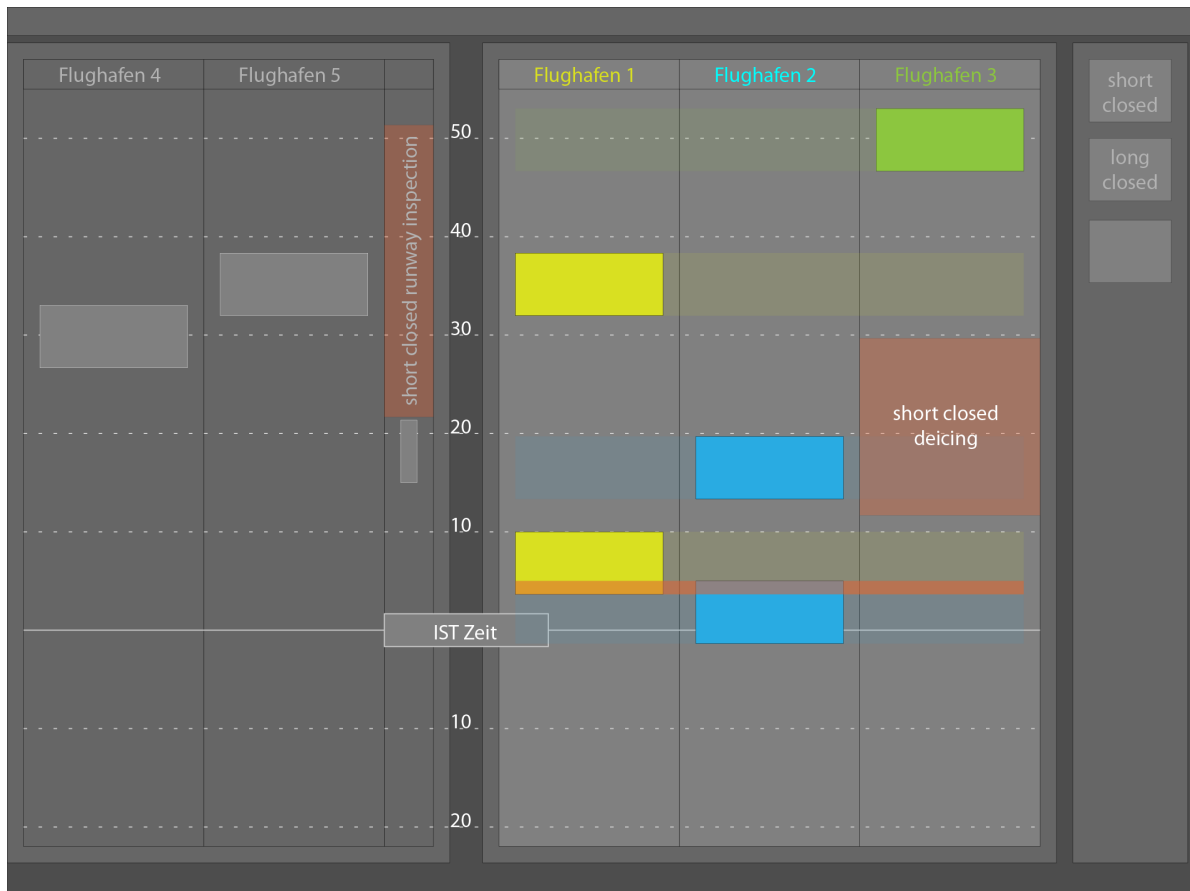


Abbildung 18: Fallstudie 1 - Designergebnis der 1. Runde

Evaluation (e.1)

Die Evaluation des ersten Gestaltungsentwurfs erfolgte im Projektteam mit einem erfahrenen Lotsen. Es wurde festgestellt, dass der erste Gestaltungsentwurf bereits die Anforderungen (a.1.1) und (a.1.4) erfüllte. Die Aufgabenangemessenheit (a.1.7) konnte in dieser Projektphase ebenso wenig fundiert bestimmt werden wie die Erfüllung der Anforderungen (a.1.2), (a.1.3), (a.1.5), (a.1.6) sowie (a.1.8) bis (a.1.10). Die Umsetzung dieser Anforderungen blieb daher Aufgabe der nächsten Iteration. Auch wurde erkannt, dass einige Anforderungen noch fehlen, wie z. B. bezüglich Bildschirmgröße und Dynamik.

Runde 2 / 1. Iteration

Aufgrund der Feststellung der vorhergehenden Evaluation (e.1), dass noch nicht alle Anforderungen erfüllt wurden bzw. dass neue Anforderungen hinzugefügt werden müssen, wurde eine Iteration als notwendig erachtet.

1. Aktivität: Nutzungskontext (n.2) = (n.1)

Der Nutzungskontext wurde auf mögliche Fehler oder Lücken überprüft. Jedoch waren keine Veränderungen notwendig, so dass der definierte Nutzungskontext beibehalten werden konnte.

2. Aktivität: Nutzungsanforderungen (a.2)

Bei der zweiten Durchführung der Analyse von Nutzungsanforderungen wurden einige Anforderungen weiter präzisiert, wie beispielsweise die Möglichkeit der Konfliktlösung (a.2.6). Zudem sollte die Hervorhebung von Konflikten noch deutlicher realisiert werden (a.2.5). Aufgrund der Ergebnisse der vorangegangenen Evaluation (e.1) wurden außerdem zwei neue Anforderungen aufgenommen.

(a.2.11) **Bildschirmgröße:** Minimale Bildschirmdiagonale von 15 Zoll.

(a.2.12) **Dynamik:** Der zeitliche Verlauf erfolgt kontinuierlich, nicht in Sprüngen.

(a.2.13) **Unterscheidung von Arrivals und Departures:** Die Unterscheidbarkeit von Arrivals und Departures muss gewährleistet sein, z. B. durch unterschiedliche Gestaltung, da sich die jeweiligen Aufgaben der Lotsen bei Starts und Landungen unterscheiden.

(a.2.14) **Labelgröße:** Das Label eines Flugzeug sollte genau den Bereich entlang der Zeitleiter bedecken, der dem zeitlichen Bedarf der Betreuung durch den Lotsen entspricht.

(a.2.15) **Zeitbereich:** Dem Lotsen soll durch die Markierung der frühestmöglichen und der spätestmöglichen Lande- bzw. Startzeit der zeitliche Rahmen angezeigt werden, in dem er einen Flug noch verschieben kann, d. h. seinen zeitlichen Spielraum.

3. Aktivität: Gestaltung (g.2)

In der zweiten Gestaltungsphase wurden die früheren schematischen Darstellungen und ersten Konzepte weiterentwickelt und gestalterisch verfeinert (Abbildung 19), mit dem Fokus auf der Gestaltung der Elemente, welche die einzelnen Flugzeuge repräsentieren, den so genannten "Labeln", sowie der Farbgebung. Alle vom Lotsen benötigten Informationen zu einem Flugzeug werden auf dem Label nach dem gleichen Schema dargestellt, um die Informationsaufnahme zu erleichtern. Die Unterscheidung zwischen startenden und landenden Flugzeugen (a.2.13) erfolgte durch ein Symbol im linken Bereich des Labels. Startende Flugzeuge erhalten einen nach oben zeigenden Winkel, landende Flugzeuge einen nach unten zeigenden Winkel. Die einfache Symbolik, bestehend aus einem stilisierten Pfeil nach oben (startende Flugzeuge), nach unten (landende Flugzeuge) und nach rechts (Bodenverkehr bzw. rollende Flugzeuge), greift die Bewegungsrichtung

auf und ist damit intuitiv verständlich. Ressourcenkonflikte zwischen Flügen werden hervorgehoben (a.2.5), indem die zeitliche Überschneidung bzw. die Fläche der Schnittmenge rot eingefärbt wurde. Graue Linien oberhalb und unterhalb eines Labels begrenzen den zeitlichen Bereich, in dem ein Flugzeug die Aufmerksamkeit des Lotsen benötigt bzw. unter der Kontrolle des Towers steht, ein grau hinterlegter Bereich zeigt dem Lotsen einen zeitlichen Spielraum an (a.2.14). Interaktionen wie beispielsweise das Verschieben von Labels entlang der Zeitleiter können mit einer Computermaus vorgenommen werden (a.2.3). Die Übergabe bzw. Übernahme der Kontrolle an einem Flugplatz (a.2.6) ist durch einen Klick auf den Namen des Flughafens (unten in der jeweiligen Spalte) möglich. Zur Eingabe von zusätzlichen Flugzeugen oder Bahnsperren sind auf der rechten Seite Bedienfelder eingeblendet.

Eine Verschiebung der vertikalen Zeitleiter nach links lässt mehr Raum für die Darstellung der drei Flughäfen unter der Kontrolle des Lotsen, welchen die Aufmerksamkeit des Lotsen gelten sollte. Da zusätzlich zu den aktuell unter Kontrolle stehenden Flugzeugen auch diejenigen Flugzeuge angezeigt werden sollten, welche der Fluglotse gerade an einen Kollegen abgegeben hat, wurden die jeweiligen Label zur besseren Unterscheidung dieser beiden Zustände unterschiedlich gestaltet. Auf diese Weise sollte es dem Lotsen ermöglicht werden, schnell und mit hoher Sicherheit die Verkehrslage an allen drei Flugplätzen sowie seine eigene Verantwortlichkeit zu erfassen. Die aktuelle Zeit wurde deutlich hervorgehoben. Zur Hervorhebung von Konflikten wurden die Überschneidungsbereiche der betreffenden Label rot eingefärbt, die weiteren Farben des HMI reduziert. Da nun Rot nahezu die einzige verwendete Farbe ist, müssten die Konflikte auch bei einem kurzen Blick auf das HMI bemerkt werden, während das Gesamtdesign ruhiger und klarer wirkt (a.2.4) und die Erkennung (a.2.5) und Konfliktlösung (a.2.6) erleichtert wird.

Das Design näherte sich nun vorhandenen HMI wie beispielsweise Tower-TID oder Tower-HMI an (vgl. Kapitel 4.3, siehe auch König et al., 2009b; Bergner, et al., 2009), welche die Idee der früheren Papierstreifen-Systeme aufgreifen, indem sie Informationen zu einem Flugzeug in Form eines Labels anzeigen. Auf diese Weise erhöht sich die Erwartungskonformität (a.2.10), da Erfahrungen mit dem einen System auf ein weiteres leicht übertragen werden können.

In diesem Schritt wurde das Design auch zum ersten Mal in einen Software-Prototypen umgesetzt, um die Abläufe und die Interaktionen erproben zu können. Die Programmierung erfolgte mit Flash CS5, so dass der Prototyp im Browser ausgeführt werden konnte. Die Ablaufgeschwindigkeit konnte dabei variiert werden, außerdem waren zeitliche Verschiebungen von Flugzeugen sowie die Abgabe und Übernahme von Flugplätzen von bzw. an Kollegen möglich. Die Interaktion erfolgte in diesem Stadium jedoch mit einer Computermaus, da zu diesem Zeitpunkt kein Touch-Monitor verfügbar

war. Zu diesem Zeitpunkt waren im Wesentlichen zwei Interaktionen möglich: Das Verschieben eines Flugzeugs entlang der Zeitleiter (Rescheduling) mittels Drag & Drop sowie das Abgeben eines Flughafens an einen Kollegen durch Klick auf den Namen des Flughafens, wodurch sich die entsprechende Spalte nach links verschob.

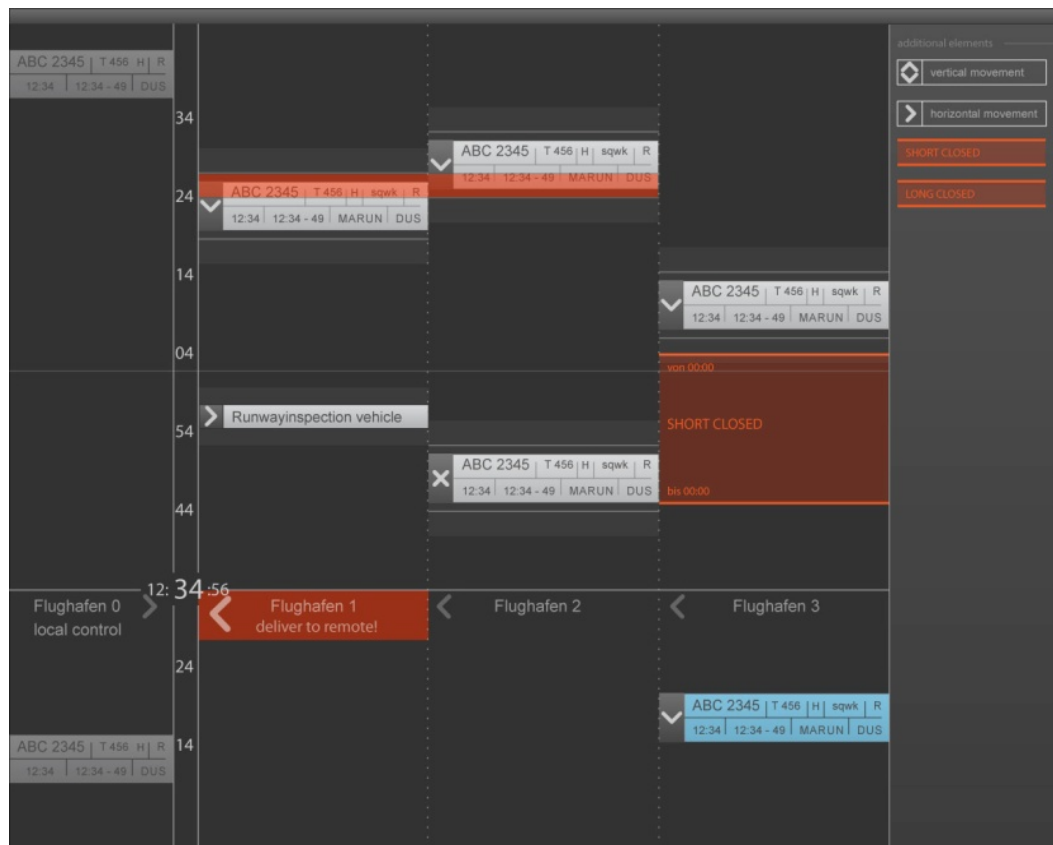


Abbildung 19: Fallstudie 1 - Designergebnis der 2. Runde

4. Aktivität: Evaluation (e.2)

Die zweite Evaluation wurde vom Projektteam mit dem gleichen, erfahrenen Lotsen durchgeführt wie die erste. Schwerpunkt waren nun die Gestaltung der einzelnen Elemente sowie die Interaktionen mit dem Tool. Die Evaluation ergab, dass alle relevanten Informationen zu einem Flugzeug vorhanden sind (a.2.2). Die Struktur des HMI wurde als klar und übersichtlich gesehen (a.2.4), Eingaben sind mit einer Computermouse möglich (a.2.3). Konflikte bei der Verkehrsplanung (z. B. zeitliche Überschneidungen von zwei Flugzeugen) werden hervorgehoben (a.2.5) und können so angemessen berücksichtigt bzw. gelöst werden (a.2.6), beispielsweise durch zeitliche Verschiebung einzelner Flüge mittels Drag & Drop entlang der Zeitachse oder durch eine (sofortige) Übergabe der Verantwortung an einem Flughafen an einen Kollegen. Diese Anforderungen konnten daher als

weitestgehend erfüllt betrachtet werden. Auch die Erwartungskonformität des Designs (a.2.10) erwies sich als hoch.

Die Eingabe zukünftig geplanter Übergaben ist jedoch nicht möglich, so dass eine entsprechende Planung vom Lotsen im Gedächtnis behalten oder andersweitig notiert werden müsste und erst zum tatsächlichen Übergabezeitpunkt eine Eingabe in das Planungstool erfolgen würde. Dieses Vorgehen würde die Ressourcen des Lotsen unnötig belasten und seine Aufgabenerfüllung beeinträchtigen, so dass die Aufgabenangemessenheit (a.2.7) des Entwurf als nicht ausreichend betrachtet wurde. Die Umsetzung des Designs in einen Software-Prototypen zeigte außerdem Defizite bei der Fehlertoleranz auf (a.2.8): Die zeitliche Zuordnung eines Flugzeugs zu einer konkreten Lande- oder Startzeit fiel schwer und müsste durch grafische Mittel besser kenntlich gemacht werden, um Fehler zu vermeiden bzw. die Aufmerksamkeit des Lotsen nicht unnötig stark zu binden.

Runde 3 / 2. Iteration

Zur Erfüllung der noch offenen Anforderungen wurde entschieden, eine weitere Iteration durchzuführen.

1. Aktivität: Nutzungskontext (n.3) = (n.2)

Die Überprüfung des Nutzungskontexts ergab erneut keinen Anpassungsbedarf, so dass die Definition aus der vorhergehenden Runde beibehalten werden konnte.

2. Aktivität: Nutzungsanforderungen (a.3)

Von den zu Beginn oder in der ersten Iteration definierten Anforderungen waren zu diesem Zeitpunkt ein großer Teil erfüllt ((a.2.1)-(a.2.4) und (a.2.9)-(a.2.15)). Noch offen blieben zum einen Anforderungen bezüglich der Usability, d. h. Aufgabenangemessenheit (a.2.7) und Fehlertoleranz (a.2.8), da die Bearbeitung noch nicht ausreichend schnell und sicher gelang. Zum anderen waren zwei Anforderungen noch nicht erfüllt, welche die Konfliktdarstellung (a.2.5) und -lösung (a.2.6) betreffen. Letzere erwiesen sich als nicht präzise genug. Erfahrungen aus der vorhergehenden Simulationen zeigten, dass die sofortige Abgabe eines gesamten Flugplatzes keine geeignete Strategie zur Konfliktlösung darstellt. Daher wurden die bestehenden Anforderungen durch vier weitere ergänzt und präzisiert:

(a.3.16) **Partielle Abgabe:** Die Abgabe eines Flugplatzes erfolgt nicht komplett, sondern nur für einen Zeitabschnitt

(a.3.17) **Anzeige der partiellen Abgabe:** Der Zeitabschnitt, für den der Lotse die Kontrolle an einen Remote-Lotsen gegeben hat, muss leicht erkennbar sein.

(a.3.18) **Planung:** Die geplante Abgabe eines Flugplatzes muss schon vor dem Abgabzeitpunkt eingegeben werden können.

(a.3.19) **Latest time of opening:** Der spätestmögliche Zeitpunkt für die Abgabe eines Flugplatzes muss hervorgehoben sein.

3. Aktivität: Gestaltung (g.3)

Das Gestaltungskonzept wurde erneut überarbeitet, um die noch offenen Anforderungen zu erfüllen und einige Aspekte zu detaillieren. Zunächst wurde entschieden, die partielle Abgabe eines Flugplatzes an einen Remote-Lotsen direkt im Bereich des betreffenden Flughafens anzuzeigen statt in einer gesonderten Spalte wie bisher. Daraus ergab sich eine Reduktion der Spaltenanzahl und mehr Raum für die Labeldarstellung.

Die Abgabe eines Flughafens erfolgt nun nicht mehr durch einen Klick auf seinen Namen, sondern durch Klick auf das Bedienfeld “remote” am oberen Bildschirmrand und Aufziehen eines Fensters in der entsprechenden Größe direkt in der Spalte des Flughafens. Dieser Bereich gilt damit als vorgemerkt für eine Abgabe an einen Remote-Lotsen. Der Lotse kann diese Planung schon deutlich vorher vornehmen und dann zu einem geeigneten Zeitpunkt die Übergabe vornehmen, d. h. den Remote-Lotsen informieren. Während der Remote-Phase kann der Master weiter den Verkehr auf dem betreffenden Flughafen beobachten und, bei geringem Verkehrsaufkommen bzw. keinen zu erwartenden Konflikten, auch die Rücknahme des Flughafens veranlassen. Start- und Endzeit sind zusätzlich als Zahlenwert angegeben, da hier eine hohe zeitliche Präzision notwendig ist.

Zur Optimierung der Aufgabenangemessenheit und Fehlertoleranz wurde die Zeitleiter auf beiden Seiten des Displays angezeigt, so dass eine zuverlässige Bestimmung der Zeit in jeder Spalte möglich ist. Die Darstellung der Zeitleiter wurde gleichzeitig reduziert, so dass die Minuten als wesentliches Element deutlicher hervortreten. Die zeitliche Zuordnung wird zusätzlich durch waagrechte Linien bei allen vollen und halben Stunden unterstützt. Um Flugzeuge mit besonderem Bedarf zu kennzeichnen, wurde ein farbiges Feld am rechten Rand des Labels eingeführt, welches einen Warnhinweis in zwei verschiedenen Stufen ermöglicht.

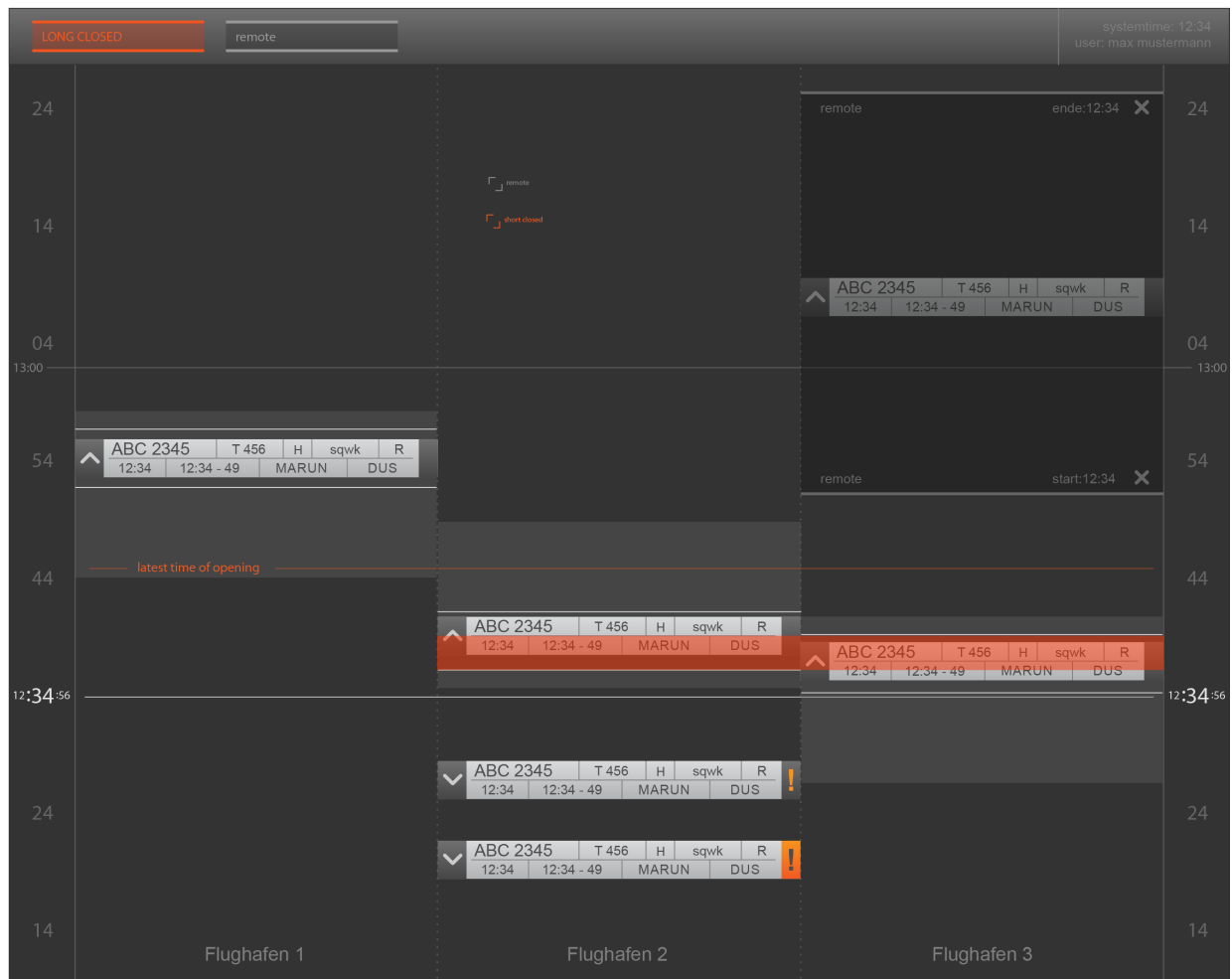


Abbildung 20: Fallstudie 1 - Designergebnis der 3. Runde

4. Aktivität: Evaluation (e.3)

Die erneute Evaluation mit Hilfe eines erfahrenen Nutzers ergab, dass die meisten Anforderungen nun erfüllt waren:

Das HMI stellt drei Flugplätze (a.3.1) mit den relevanten, benötigten Informationen der geplanten Flüge dar (a.3.2). Das Design ist klar strukturiert und ermöglichte dem Lotsen einen guten Überblick über die aktuelle Verkehrssituation an seinen Flugplätzen (a.3.4). Konflikte werden durch eine rote Fläche deutlich hervorgehoben (a.3.5) und können gelöst werden, indem Flüge per Drag & Drop verschoben oder ein Flugplatz durch einen Klick an Kollegen abgegeben werden (a.3.6). Anfliegende und abfliegende Flugzeuge sind durch unterschiedliche Symbole voneinander zu

unterscheiden (a.3.13). Der zeitliche Bedarf eines Flugzeugs (a.3.14) und der Handlungsspielraum für die Planung (a.3.15) werden angezeigt.

Die Interaktionen könnten auf einem Touch-Screen (a.3.3) oder mit einer Computermouse durch einfaches Drag & Drop (Änderung der Planung) oder durch Klicken (Übergabe bzw. Übernahme eines Flugplatzes) vorgenommen werden. Diese Interaktionsweise ist in unterschiedlichen alltäglichen Produkten wie beispielsweise Smartphones oder Bankautomaten eingesetzt und ist daher hoch erwartungskonform (a.3.10). Zur Erwartungskonformität trägt außerdem die Orientierung an schon vorhandenen Systemen im Tower bei. Das Ergebnis der Interaktion ist direkt sichtbar, indem sich das jeweilige Label auf die Zielposition bewegt, was zur Fehlertoleranz beiträgt (a.3.8). Eingaben sind nicht zeitlich limitiert, so dass kein zusätzlicher Zeitdruck aufgebaut wird (a.3.9). Das Design ist für eine Bildschirmgröße von mindestens 15 Zoll ausgelegt (a.3.11). Der zeitliche Verlauf erfolgt kontinuierlich (a.3.12).

Das HMI ermöglicht dem Lotsen eine schnelle und sichere Interaktion sowie den Aufbau und die Aufrechterhaltung des mentalen Modells (a.3.7). Zu diesem Zeitpunkt konnten somit alle definierten Anforderungen als erfüllt betrachtet werden. Eine endgültige Bestätigung der Erfüllung der betrieblichen und ergonomischen Anforderungen durch eine repräsentative Nutzergruppe unter realitätsnahen Bedingungen stand jedoch noch aus. Auch wurde in der Evaluation (e.3) festgestellt, dass in einigen Punkten Optimierungsbedarf besteht, selbst wenn die grundlegenden Anforderungen schon als erfüllt galten. In einer weiteren Iteration wurde daher ein verfeinerter Entwurf gestaltet, programmiert und im Herbst 2011 im Rahmen von Realzeitsimulationen evaluiert.

4.2.4 Erkenntnisse über den Prozess

Die Anwendung der DIN EN ISO 9241-210 bei der Entwicklung des Planungstools hatte einige nützliche Effekte. So konnten auf diese Weise die wesentlichen Anforderungen strukturiert, ihre Anpassungen verfolgt und ihre Erfüllung dokumentiert werden. Insbesondere der Bezug von Gestaltungselementen auf die zugrunde liegenden Anforderungen sowie auf die Evaluationsergebnisse wurde als hilfreich empfunden, da so bestimmt werden konnte, welche Anforderungen durch welche Gestaltungslösung erfüllt werden. Im Projektverlauf zeigte sich, dass die zu Beginn definierten Anforderungen noch nicht spezifisch genug formuliert waren und durch Iterationen detailliert wurden. Daraus lässt sich ableiten, dass für die Anforderungsbestimmung zum einen ein fundiertes Fachwissen über den Nutzungskontext und die relevanten Anforderungsquellen notwendig ist, zum anderen jedoch auch Erfahrung in der präzisen Beschreibung von überprüfbaren Anforderungen. Trotzdem sind auch bei großer fachlicher Kompetenz Anpassungen der Anforderungen im Projektverlauf notwendig, da das Projektteam erst mit der Zeit ein gemeinsames

Verständnis vom Bedarf und vom gemeinsamen Handlungsspielraum entwickelt. Die Integration zukünftiger Nutzer bringt eine weitere, wichtige Perspektive in die Anforderungsdefinition ein und kann daher wesentlich zum Erfolg des Projekts beitragen. Zudem fördert die Partizipation die Akzeptanz des späteren Entwurfs, wenn die Perspektive der Nutzer berücksichtigt und der Gestaltungsentwurf gemeinsam getragen wird (vgl. Jordan, 1998a; Hall, 2001).

Der Einsatz von Prototypen in frühen Projektstadien erwies sich als sinnvoll, da viele Anforderungen sich auf den Arbeitsprozess, die Abläufe und die Interaktion bezogen und ihre Erfüllung bei einem statischen Entwurf nicht einfach überprüft werden könnte. Der Software-Prototyp erlaubte dem Projektteam einen fundierten Einblick in Design und dynamisches Verhalten des HMI und half dabei, Designprobleme und Inkonsistenzen zu erkennen und vor der eigentlichen Implementierung zu korrigieren.

Im Projektverlauf wurde auch deutlich, dass eine Strukturierung und bildliche Darstellung von Projektstruktur, Phasen und Komponenten hilfreich sein kann, um den Projektverlauf zu beobachten und zu steuern. Um den Verlauf des Projekts bzw. die Zusammenhänge zwischen einzelnen Anforderungen, Designkomponenten oder Evaluationsergebnissen abzubilden, reichen etablierte Werkzeuge wie Projektstrukturplan und Projektablaufplan (vgl. Landau & Hellwig, 2007) oder eine einfache Anforderungsliste nicht aus. Eine Erweiterung der Darstellung des menschenzentrierten Vorgehensmodell nach DIN EN ISO 9241-210 sowie eine Verknüpfung von Vorgehensmodell, Anforderungsliste und weiteren Werkzeugen zur Strukturierung und Dokumentation des Vorgehens erscheint zweckmäßig.

4.3 Fallstudie 2: Evolution der Gestaltung beim Tower-HMI

Die zweite Fallstudie beschreibt die Entwicklung der Gestaltungsentwürfe und -komponenten über mehrere Iterationen innerhalb eines Projekts.

4.3.1 Ausgangssituation und Ziel

Trotz der jahrelangen Verwendung von Anflugplanungssystemen für die Strecken- und Anflugkontrolle an europäischen Großflughäfen haben sich solche Systeme für Tower-Lotsen noch nicht durchgesetzt (Bergner et al., 2008). Das Verbundprojekt „Wettbewerbsfähiger Flughafen“ (WFF), gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Rahmen des 4. Luftfahrtforschungsprogramms, beinhaltet daher die Entwicklung einer kombinierten An- und Abflugplanung, um die vorhandene Infrastruktur am Flughafen optimal zu nutzen (Bergner et al., 2008). Alle Beteiligten, wie z. B. Fluglinien, Flughafenbetreiber und Flugsicherung, sollten so

einheitliche Planungsinformationen erhalten. Da zu diesem Zeitpunkt noch kein geeignetes Ausgangssystem existierte, wurden die beiden bereits betrieblich eingesetzten Planungssysteme „4-D Planer“ (Arrival-Manager) und „darts“ (Departure-Manager) miteinander gekoppelt. Diese Integration von zwei bisher getrennten Datenquellen führte für die Arbeitsposition der Tower-Fluglotsen zum Bedarf eines neuen HMI. Das Institut für Arbeitswissenschaft erhielt von der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH den Auftrag zur Entwicklung eines HMI, welches dem Platzlotsen eines Hub-Airports eine effiziente Abwicklung des Verkehrs gemäß dieser kooperativen Planung ermöglicht.

Interface-Design: Thomas Hofmann (Hochschule Osnabrück), Programmierung: Hendrik Ebert (delair Air Traffic Systems GmbH)

Laufzeit: 1/2007 – 12/2008

Koppelung von Arrivals und Departures

Einen Teil der zahlreichen, zur Erfüllung seiner Aufgaben benötigten Informationen erhält der Lotse von Kollegen im Tower oder von außerhalb, einen weiteren Teil durch unterschiedliche technische Systeme. Die Daten abfliegender Flugzeuge wurden bisher mit dem System DEPCOS (Departure-Coordination-System) auf einem Bildschirm angezeigt und mit einer Tastatur bearbeitet (vgl. Bergner et al., 2008). Landungen wurden mit dem System Tower-TID (Tower-Touch-Input-Device) angezeigt, die Statureingaben erfolgten über einen Touchscreen. Weitere Displays bildeten Wetterinformationen, Luft- und Bodenlageradar sowie weitere betrieblich relevante Informationen ab (vgl. z. B. Mensen, 2004). Sowohl die Gestaltung der HMI als auch die Interaktionsmöglichkeiten bzw. Eingabegeräte waren unterschiedlich, so dass ein kontinuierlicher mentaler Wechsel des Lotsen notwendig ist. Eine Integration von Systemen sowie Ein- und Ausgaben sollte u. a. die kognitiven Wechselkosten verringern und den Lotsen entlasten. Die Kopplung von Arrivals und Departures auf Planungssystem- und HMI-Ebene und der Wechsel zu einer kombinierten Darstellung bedeutete jedoch einen Paradigmenwechsel für den Lotsen (König et al., 2009b).

Informationsbedarf

Je nach Situation benötigt der Lotse Informationen von unterschiedlichem Detailgrad und muss geografische (z. B. Start-/ Landebahnen, Höhe eines Flugzeugs), zeitliche (z. B. Zeit bis Start bzw. Landung, zeitlicher Abstand von zwei Flugzeugen) oder ablaufbezogene (z. B. Status des Flugzeugs im Start-/ Landeprozess, Wirbelschleppenkategorie) Informationen berücksichtigen und zu einem kohärenten Picture zusammenfügen. Ein integriertes HMI sollte dem Lotsen die benötigten Informationen aus mehreren Informationsquellen abhängig von der aktuellen Situation und Aufgabe bei einer möglichst geringen Beanspruchung der kognitiven und visuellen Kapazität und Aufmerksamkeit

darstellen (König et al., 2009b). Besondere Bedeutung hat diese Optimierung an Lotsenarbeitsplätzen, an denen ein hohes Verkehrsaufkommen zu einer hohen Arbeitsbelastung und geringen freien Ressourcen für Nebenaufgaben wie Bedienprozesse von HMI führt.

Nutzer

Die zukünftigen Anwender des HMI waren hoch spezialisiert (König et al., 2009b). Jede Veränderung ihrer Arbeitsmittel könnte sich störend auf die etablierten Arbeitsabläufe auswirken und die Sicherheit des gesamten Systems beeinträchtigen, so dass sie soweit wie möglich vermieden werden sollte. Das neu entwickelte HMI sollte einerseits innovativ sein, andererseits in Darstellung und Bedienung nicht zu sehr von den vertrauten Paradigmen abweichen. Jegliche Neuerung sollte nur schrittweise und einvernehmlich mit den Nutzern umgesetzt werden.

Zusammenfassung der wesentlichen Anforderungen

Das neue System sollte die bisherigen Systeme für An- und Abflug integrieren und in einem gemeinsamen HMI mit einer einheitlichen grafischen Darstellung und Interaktion umgesetzt werden. Dem Tower-Lotsen eines hoch frequentierten Hub-Airports sollten die benötigten Informationen situationsgerecht dargestellt werden, so dass eine schnelle Erfassung der Planungssituation möglich ist. Kriterium waren neben einer betrieblichen Eignung eine hohe ergonomische Qualität sowie Akzeptanz durch die zukünftigen Nutzer.

4.3.2 Prinzip

Diese Fallstudie verdeutlicht die Evolution des Gestaltungsentwurfs über mehrere Iterationen. Ausgehend von vorhandenen Systemen werden erste Konzepte, Basisentwurf und Detaillierungen entwickelt, um die zu Beginn festgelegten und kontinuierlich verfeinerten Anforderungen zu erfüllen. Dieses Prinzip zeigt Abbildung 21.

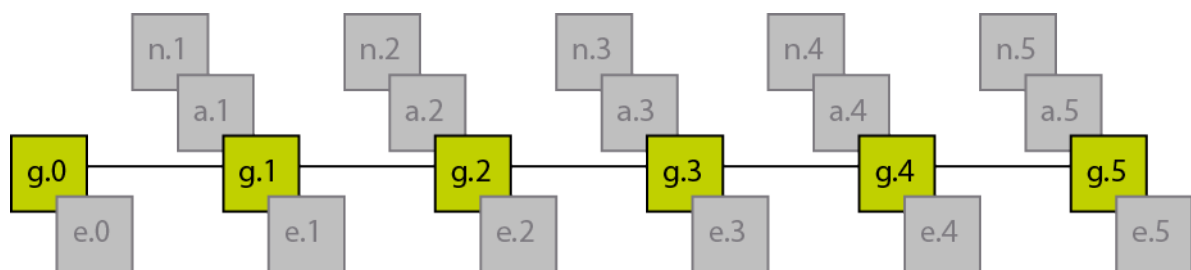


Abbildung 21: Fallstudie 2 - Prinzip

4.3.3 Vorgehen und Inhalte

Nach einer Analyse des Nutzungskontexts wurden Anforderungen an das HMI definiert, Gestaltungsentwürfe entwickelt, umgesetzt und evaluiert (vgl. König et al., 2009b). Es folgten mehrere Iterationen, im Laufe derer der Gestaltungsentwurf weiterentwickelt und unter anderem im 3D-Realzeit-Tower-Simulator der DFS evaluiert wurde. Die Ergebnisse einer Evaluation führten jeweils zu einer weiteren Iteration mit einem weiterentwickelten HMI und damit zu einer schrittweisen Annäherung an die finale, optimierte Designlösung. Während zu Beginn des Prozesses bekannte Elemente nur minimal verändert wurden, erfolgte im weiteren Verlauf eine allmähliche Anpassung des Designs an die definierten Anforderungen (Abbildung 22, vgl. König et al., 2009b).

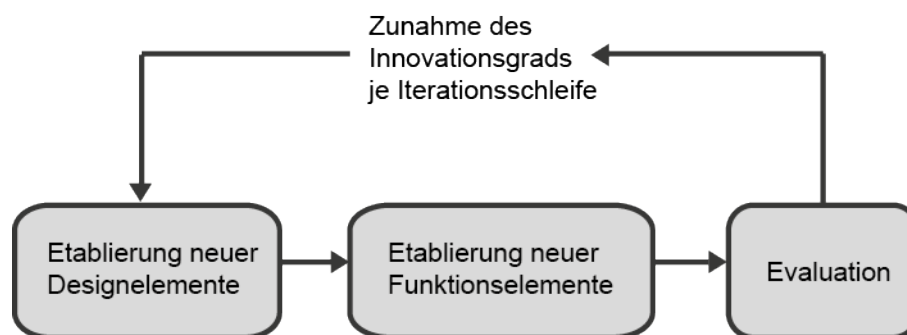


Abbildung 22: Fallstudie 2 - Prinzip des iterativen Vorgehens (leicht angepasst nach König et al., 2009b)

Die zukünftigen Anwender wurden von Beginn an und über den gesamten Projektverlauf hinweg am Gestaltungsprozess beteiligt (vgl. König et al., 2009b), so dass Bedienprobleme frühzeitig aufgedeckt sowie Bedarf und Lösungsansätze aus Anwendersicht berücksichtigt werden konnten. Zudem sollte die Partizipation die Akzeptanz des HMI und der daraus resultierenden Veränderungen am Arbeitsplatz fördern. Als Basis für Evaluationen und partizipative Gestaltungsmethoden wurden kontinuierlich relevante Gestaltungs-, Ablauf- und Bedienkonzepte in Form von Funktions- und Designprototypen visualisiert.

Im Rahmen dieser Fallstudie werden vier Iterationen eines anfänglichen Gestaltungsentwurf vorgestellt, so dass die Entwicklung eines komplexen Designs von der Ausgangssituation (d. h. den schon vorhandenen, zu integrierenden Systemen) bis hin zu einer abschließenden Lösung verfolgt werden kann.

(g.0)

Die Ausgangssituation g.0 des Gestaltungsprozesses bildeten zwei bestehende Systeme mit jeweils einem Bildschirm und einem Eingabegerät:

Das System DEPCOS (Departure-Coordination-System¹) diente bisher der Bearbeitung von Flugzeugdaten bei Abflügen. Jedes Flugzeug wird in einer monochromen Listendarstellung einzeilig mit allen relevanten Informationen dargestellt (g.0.1; Abbildung 23 links), erteilte Freigaben werden mittels einer speziellen Tastatur eingegeben. Für die Bearbeitung von Landungen wurde zu diesem Zeitpunkt das System TWR-TID (Tower-Touch-Input-Device²) verwendet, welches alle landenden Flugzeuge der nächsten 6 Minuten auf einer grafischen Oberfläche anzeigt und Statureingaben ermöglicht (g.0.2; Abbildung 23 rechts). Flugzeuge werden als fünfeckiges Label angezeigt, welches die vom Lotsen benötigten Informationen zum Flugzeug enthält. Der aktuelle Status des Flugzeugs wird durch unterschiedliche Farben in einem dreieckigen Bereich des Labels angezeigt. Die Statureingabe nimmt der Lotse durch Antippen von Menüpunkt und Flugzeuglabel vor, so dass er die dem Piloten per Funk erteilte Freigaben dokumentieren und überblicken kann. Die Label sind ober- und unterhalb einer Zeitleiste positioniert, entsprechend zu ihrer geplanten Landezeit. Der aktuelle Zeitpunkt wird immer an der gleichen Stelle angezeigt, auf die sich die Label dann zubewegen. Das Design ist schlicht in Grautönen gehalten, Farbtöne werden lediglich zur Anzeige der Stati eingesetzt (bei Menüpunkten und im Label) und bewirken so eine deutliche Hervorhebung.

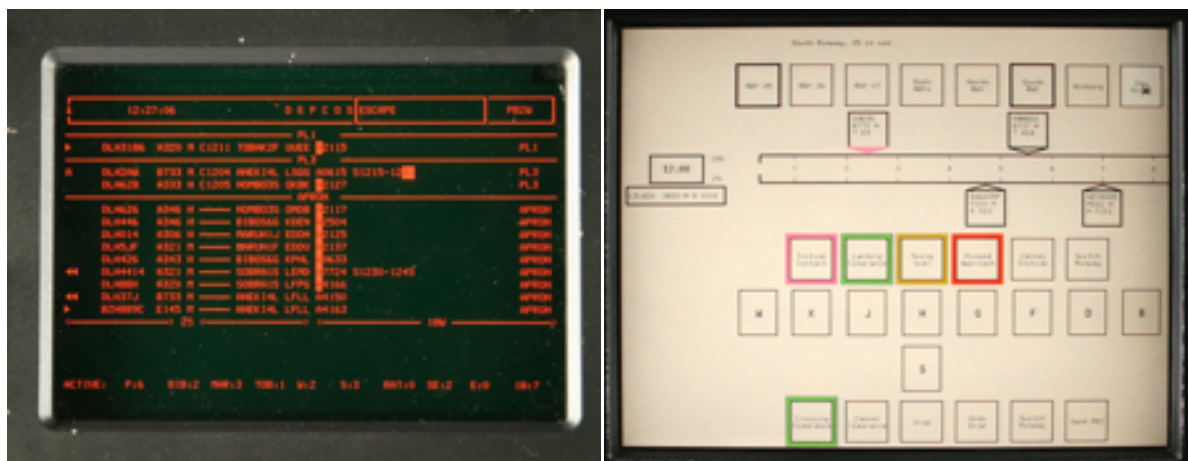


Abbildung 23: Fallstudie 2 - DEPCOS und Tower-TID

- 1 Hersteller: THALES Air Traffic Management
- 2 Hersteller: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

(g.1)

Nach Analyse des Nutzungskontexts und Definition der Nutzungsanforderungen wurden drei prinzipielle Lösungen zur integrativen Darstellung von An- und Abflügen erarbeitet. Der erste Gestaltungsentwurf diente dazu, den Gestaltungsspielraum auszuloten und unterschiedliche Prinzipien zur Anzeige der zeitlichen und räumlichen Daten sowie der Koppelung zu erproben. Daher wurden drei verschiedene so genannte „Kreativ-Konzepte“ entwickelt, die jeweils unterschiedliche Prinzipien verdeutlichen. Alle drei Konzepte wurden als Papierprototyp realisiert, so dass sie in Workshops mit Nutzern und Experten evaluiert werden konnten, ohne jedoch einen zu hohen Aufwand zu verursachen.

(g.1.1) Konzept der sich verzahnenden Ereignisse

Das Konzept der sich verzahnenden Ereignisse visualisierte die bisher getrennt dargestellten und bearbeiteten Prozesse „Anflug“ und „Abflug“ als zwei von unten nach oben verlaufende Bögen (Abbildung 24). Diese verlaufen zunächst getrennt, bis sie sich im Bereich des aktuellen Zeitpunkts (in der Bildschirmmitte) annähern und kurzzeitig überlagern. Damit wurde aufgegriffen, dass An- und Abflüge auf dem Parallelbahnsystem am Flughafen Frankfurt die gleichen Rollbahnen verwenden, und der Lotse daher aus An- und Abflüge eine gemeinsame Sequenz bilden muss. Das Konzept unterscheidet außerdem zwischen Haupt- und Nebeninformationen und stellt diese in unterschiedlichen Bildschirmbereichen dar. Hauptinformationen wie die geplanten und schon bearbeiteten Flüge sind für den Lotsen unmittelbar bedeutsam und werden daher in der Bildschirmmitte positioniert, d. h. im Aufmerksamkeitsfokus des Lotsen. Weniger wichtige Informationen werden am Bildschirmrand angezeigt. Jedes Flugzeug wird durch ein kompaktes Informationspaket repräsentiert, ähnlich wie die Label im Tower-TID bzw. eine Zeile im DEPCOS. Die meisten Informationen werden alphanumerisch dargestellt (z. B. Flugnummer), zusätzlich erfolgt eine Unterscheidung von Arrivals und Departures durch unterschiedliche Farbtöne (orange vs. grün). Die Markierung eines Flugs durch den Lotse wird durch einen hellgrauen Hintergrund angezeigt.

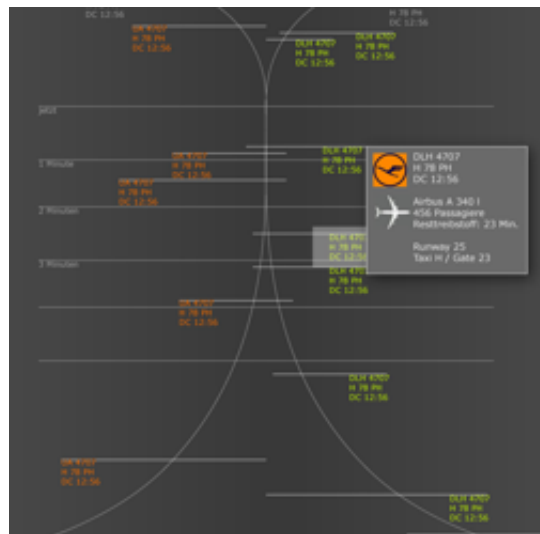


Abbildung 24: Fallstudie 2 - Konzept der sich verzahnenden Ereignisse (Ausschnitt)

(g.1.2) Zeitband

Das zweite Konzept stellt An- und Abflüge gemeinsam in einem horizontal in der Bildschirmmitte verlaufenden Zeitband dar (Abbildung 25), so dass die Sequenz selbst vom Lotsen geplant und ggf. verändert werden kann. Einzelne Flüge werden durch unterschiedliche lange Abschnitte des Bands repräsentiert; jeder Abschnitt enthält alle für den Lotsen relevanten Daten zum Flug. Dabei entspricht die Abschnittslänge dem Zeitfenster, in welchem das Flugzeug für seinen Start oder seine Landung die Aufmerksamkeit und Kontrolle des Lotsen benötigt. Lücken zwischen zwei Flügen, welche für eine Bahnkontrolle, eine Bahnkreuzung oder auch das Einfügen eines zusätzlichen Flugs genutzt werden könnten, sind dadurch gut sichtbar. Die Unterscheidung von An- und Abflügen erfolgt durch einen farbigen Balken im unteren oder oberen Bereich des Abschnitts und ist damit zweifach codiert. Auch in diesem Konzept wird zwischen Haupt- und Nebeninformationen unterschieden, letztere werden am oberen oder unteren Bildschirmrand angezeigt.



Abbildung 25: Fallstudie 2 - Konzept Zeitband (Ausschnitt)

(g.1.3) Zeitstrahl

Der Konzept „Zeitstrahl“ beinhaltet ebenfalls ein horizontal verlaufendes Band (Abbildung 26). Die einzelnen Abschnitte repräsentieren jedoch Zeitabschnitte (jeweils eine Minute), innerhalb deren alle Flugzeuge angeordnet sind, welche zu diesem Zeitpunkt landen oder starten sollen. Da die Planung für den aktuellen Zeitpunkt präziser sein muss als für entferntere Zeitpunkte, haben die Abschnitte unterschiedliche Breite. Flüge werden ebenfalls durch kompakte, alphanumerische Pakete repräsentiert, welche alle relevanten Informationen enthalten. Eine Besonderheit ist die Variabilität der Informationsmenge: Je näher ein Flug an den aktuellen Zeitpunkt rückt, desto mehr Informationen werden angezeigt (z. B. Logo der Fluggesellschaft). An- und Abflüge werden auch hier zweifach codiert, sowohl räumlich (ober- bzw. unterhalb des Bands) als auch grafisch (farbiger Punkt). Der farbige Punkt könnte bei diesem Konzept auch für andere Zwecke verwendet werden, wie beispielsweise die Anzeige des aktuellen Status. Im Gegensatz zu den anderen Konzepten stellt dieses den Flugverkehr für zwei Bahnen gleichzeitig dar, so dass der Lotse die Planung für beide Bahnen gemeinsam vornehmen kann.

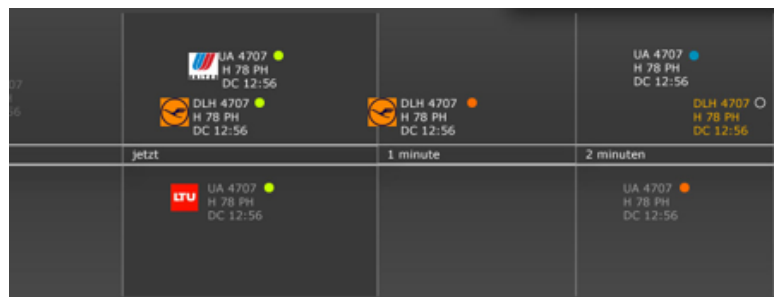


Abbildung 26: Fallstudie 2 - Konzept Zeitstrahl (Ausschnitt)

(g.2) Grundlegende Prinzipien und Elemente

In der ersten Iteration wurde auf der Basis der vorher erhobenen Anforderungen sowie der Erfahrungen mit den drei Kreativ-Konzepten ein Gestaltungsentwurf erstellt. Dieser definierte zunächst einzelne Bildschirmbereiche, dann darauf aufbauend die Ablauflogik. Weiter wurden einzelne Elemente definiert und in mehreren Varianten realisiert.

(g.2.1) Interessensbereiche

Die Aufteilung des Bildschirms erfolgte nach dem Prinzip der unterschiedlichen Interessensbereiche, basierend auf den Kreativ-Konzepten aus der ersten Gestaltungsaktivität. Aktuell relevante Informationen sollten in einem waagrechten Streifen in der Bildschirmmitte und damit im Aufmerksamkeitsfokus des Lotsen liegen, weniger relevante Informationen sollten sich am oberen und unteren Bildschirmrand befinden. Daraus ergab sich eine Dreiteilung des Bildschirms. Weiter wurde entschieden, dass Informationen am linken und rechten Bildschirmrand ebenfalls nur geringe Priorität erhalten sollten. Die wichtigsten Informationen sollten sich dagegen in der Bildschirmmitte befinden, um die Priorisierung von Informationen und die visuelle Orientierung und Gewichtung der Aufmerksamkeit zu erleichtern (vgl. Bergner et al., 2008). Auf diese Weise entstand das Konzept eines kreuzförmigen Aufbaus, mit den hoch relevanten Informationen im Zentrum und den am wenigsten relevanten Informationen in den Ecken (Abbildung 27).

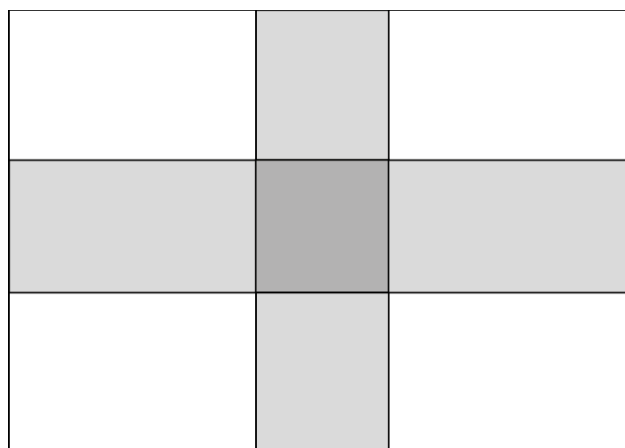


Abbildung 27: Fallstudie 2 - Interessensbereiche

(g.2.2) Informationsflüsse

Neben der Anordnung der Informationen spielten die Informationsflüsse eine wesentliche Rolle im Konzept, d. h. die Positionen der angezeigten Informationen im zeitlichen Verlauf. Die Gestaltung der Informationsflüsse erfolgte in Hinblick auf die sich verändernde Relevanz von Informationen zu einem Flug zwischen dem ersten und letzten Kontakt zwischen Pilot und Lotse. Ist der Start oder die Landung noch längere Zeit entfernt (z. B. 30 Minuten), hat der Tower-Lotse im Allgemeinen kein Interesse an Informationen zu diesem Flugzeug. Liegt der Zeitpunkt innerhalb der nächsten fünf bis sieben Minuten, ist die Information jedoch hoch relevant und muss im Picture des Lotsen enthalten sein. Ein Flugzeug ist damit zunächst unwichtig, gewinnt dann an Bedeutung bis zur hohen Relevanz und besitzt nach erfolgter Landung oder Start wieder geringe Bedeutung. Dieses Prinzip sollte sich in den Informationsflüssen wiederfinden. Daher wurde ein Konzept entwickelt, bei dem Flüge zuerst in der oberen rechten oder linken Ecke angezeigt werden (geringe Relevanz), sich dann zunächst auf einen horizontal in der Bildschirmmitte verlaufenden Bereich (Zeitleiter) und dann an dieser entlang nach links bewegen (hohe Relevanz; Abbildung 28). Nach erfolgter Landung bzw. erfolgtem Start verlassen sie wieder die Zeitleiter und bewegen sich in die obere oder untere linke Ecke (geringe Relevanz).

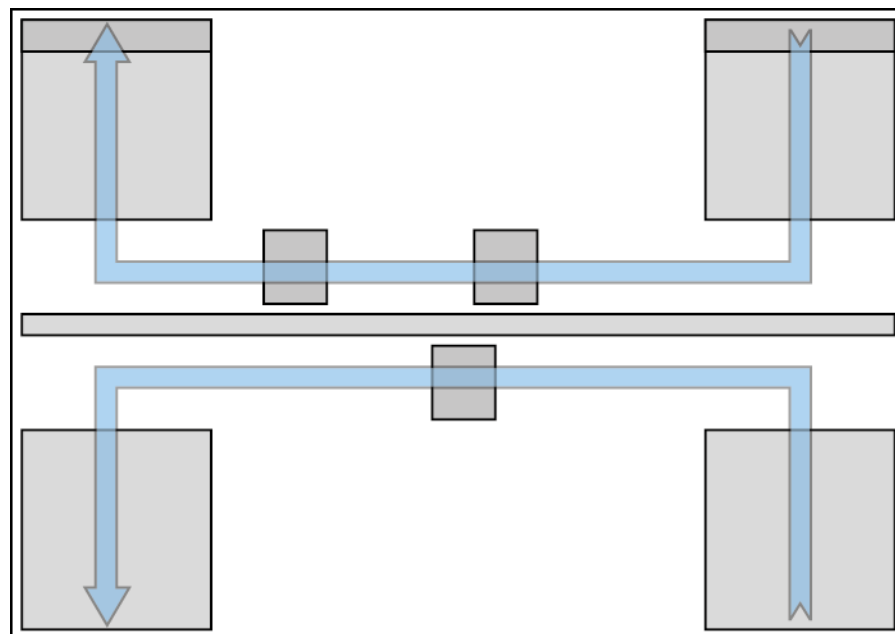


Abbildung 28: Fallstudie 2 – Informationsflüsse

(g.2.3) Zeitleiter

Die horizontal verlaufende Zeitleiter war ein wesentlicher Bestandteil des Gestaltungskonzepts. In Anlehnung an das Tower-TID unterteilt sie den Bildschirm in zwei Bereiche und ermöglicht eine zeitliche Zuordnung der Flüge der nächsten sechs Minuten. Der aktuelle Zeitpunkt liegt nicht exakt in der Bildschirmmitte liegen, da auf der einen Seite deutlich mehr Raum benötigt wird (geplanter Verkehr) als auf der anderen (abgearbeiteter Verkehr). Sowohl ein Verlauf von links nach rechts als auch umgekehrt war denkbar. Das Projektteam entschied sich, beide Varianten weiter zu verfolgen, so dass der zeitliche Verlauf an die räumlichen Orientierung des Flugverkehrs (Betriebsrichtung 07 bzw. 25) angepasst werden kann (vgl. Bergner et al., 2008). Die Informationen zum Flugzeug (Label) bewegen sich langsam entlang der Zeitleiter (für die Piste 25R oberhalb der Zeitleiter, für die Piste 25L unterhalb). Der Abstand zweier Label auf der Zeitleiter entspricht dabei nicht ihrer tatsächlichen räumlichen Entfernung zueinander, sondern einem ungefähren zeitlichen Abstand.

(g.2.4) Label

Ein Label repräsentiert ein Flugzeug und enthält alle Informationen, die der Lotse zur Kontrolle des Starts oder der Landung benötigt, wie beispielsweise die Flugnummer (zur Identifikation), den Flugzeugtyp und die Wirbelschleppenkategorie (zur Festlegung des Abstands zum nächsten Flugzeug), der angestrebte Standplatz oder die Abflugrichtung (vgl. Bergner et al., 2008). Die Informationsmenge variiert in Abhängigkeit des Status des Flugzeugs; je näher der Zeitpunkt von Start oder Landung liegt, desto mehr Informationen benötigt der Lotse. Um für ein in den nächsten Minuten startenden oder landendes Flugzeug alle Informationen anzeigen, muss das Label zu einem Flugzeug eine entsprechende Größe aufweisen. Gleichzeitig wird so sichergestellt, dass das Flugzeug auf dem Bildschirm nicht übersehen wird. Bei allen weiteren Flugzeugen reichen hingegen wenige Informationen aus; im Vordergrund steht hier die Identifikation und Unterscheidung von Flügen, so dass Label für diese Flugzeuge daher kleiner gestaltet sein können. Die Unterscheidung von An- und Abflügen sollte ebenfalls durch die Gestaltung der Label realisiert werden. Zur Umsetzung dieser Prinzipien wurden unterschiedliche Labelvarianten entworfen. Abbildung 29 zeigt einige Beispiele.

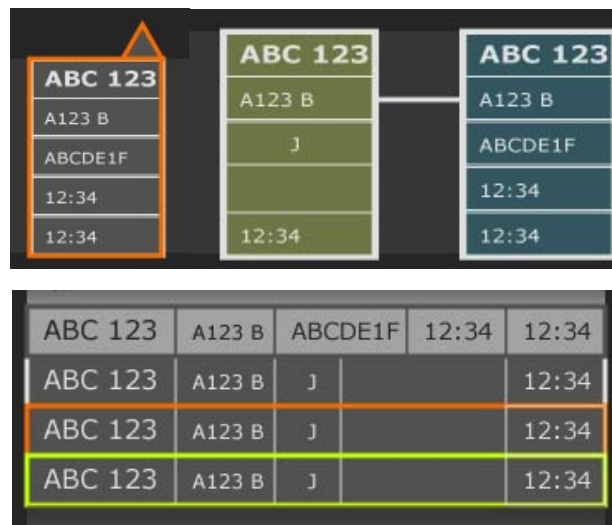


Abbildung 29: Fallstudie 2 - Labelvarianten

(g.2.5) Stacks

In den Bildschirmecken ist der zukünftige Verkehr (rechte Seite) und der abgearbeitete Verkehr (linke Seite) in Listenform dargestellt, so dass sich gleichartige Informationen (Rufzeichen, Status, ...) untereinander befinden und schnell miteinander verglichen werden können. Diese Listen wurden Stacks genannt, da sie den Papierstreifen-Systemen im Tower und Center ähnelten (vgl. z. B. Mackay, 1999; Berndtsson & Normark, 1999; Mensen, 2004). Durch ihre Position in den Bildschirmecken stehen sie nicht im Aufmerksamkeitsfokus des Anwenders (Bergner et al., 2008), entsprechend ihrer aktuell geringen Relevanz für den Anwender.

(g.3) Basis-Entwurf

Der Basis-Entwurf beinhaltet den Aufbau der Anzeige, eine Darstellung der Zeitleiter, Label zur Darstellung von Flugzeugen in unterschiedlichen Situationen, Stacks zur Darstellung von Flugzeugen außerhalb der aktuellen Zeit sowie ein Kontextmenü, welches die Eingabe und Korrektur von Daten ermöglicht (Abbildung 30). Er greift damit die einzelnen Elemente und Prinzipien aus der vorhergehenden Gestaltungsaktivität auf.

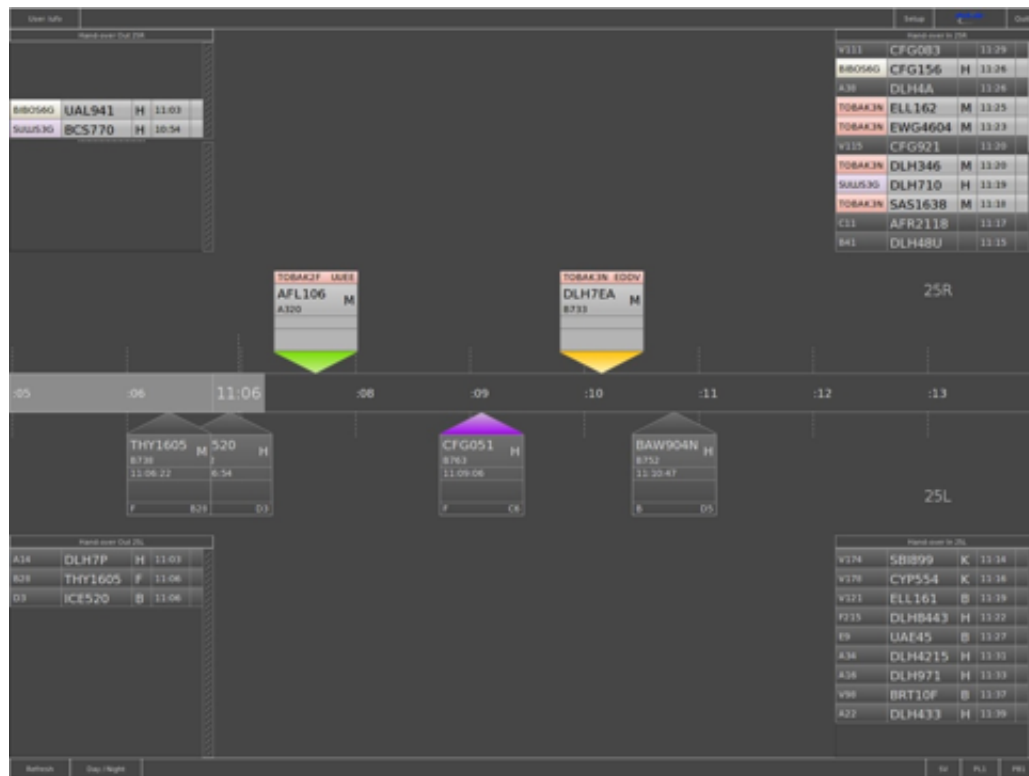


Abbildung 30: Fallstudie 2 - Basis-Entwurf (g.3)

(g.3.1) Aufbau Screen

Der Aufbau der Anzeige beinhaltet eine waagrechte Unterteilung durch die Zeitleiter sowie mehrere Label entlang dieser Zeitleiter sowie in den Ecken des Bildschirms in den Stacks (Abbildung 30). Die Farbgebung wurde weitestgehend in Grautönen gehalten, um eine klare, ruhige Darstellung zu erhalten und relevante Informationen mittels Farben hervorheben zu können. Zur Anpassung an die wechselnden Umgebungsbedingungen wurde sowohl eine Tag- (heller Hintergrund) als auch eine Nachtdarstellung (dunkler Hintergrund) gestaltet. Die Bedienfelder weisen eine ausreichende Größe für die Bedienung mit einem Stift-Display (Wacom Cintiq 21UX³) auf.

(g.3.3) Zeitleiter

Darstellung und Ausrichtung der Zeitleiter wurden aus dem vorherigen Entwurf (g.2) beibehalten. Flugzeuge werden ober- und unterhalb der Zeitleiter angezeigt, abhängig von der genutzten Start- bzw. Landebahn. Die Skalierung wurde auf Minutenschritte festgelegt, bei einer Abbildung vom aktuellen Zeitpunkt bis sechs Minuten in die Zukunft. Der aktuelle Zeitpunkt (Jetzt-Punkt) befindet sich nicht zentral auf der Anzeige, sondern seitlich verschoben, um möglichst viel Platz für die Darstellung des 6-Minuten-Bereichs zu erhalten.

(g.3.4) Label

Um den unterschiedlichen Anforderungen an die jeweiligen Label an der Zeitleiter und im Stack gerecht zu werden, wurden zwei verschiedene Darstellungen entwickelt. Label an der Zeitleiter werden mit einer fünfeckigen Form dargestellt (Abbildung 31), mit den Textinformationen zum Flugzeug (z. B. Callsign und Wirbelschleppenkategorie) im viereckigen Labelkörper und der farblichen Codierung des aktuellen Status des Flugzeugs (z. B. die schon erteilten Freigaben) in der dreieckigen Labelspitze. Zur Codierung des Status wurden kräftige, gut unterscheidbare Farben ausgewählt und etablierte Farbbedeutungen berücksichtigt, wie z. B. rot als generelle Warnfarbe (kennzeichnet hier abgebrochene Anflüge), grün als positiven Zustand (hier eine erteilte Lande- oder Startfreigabe) oder violett als erfolgter Erstkontakt mit dem Pilot im System Tower-TID (hier ebenfalls erfolgter Erstkontakt / Initial Contact). Auf der der Labelspitze gegenüberliegenden Labelseite kennzeichnet ein farbiger Balken die SID (Standard Instrument Departure / Abflugrichtung) des Flugzeugs durch Farbe (Kategorisierung) und Text (exakte Bezeichnung). Für die SID-Farben wurden Pastelltöne ausgewählt, um sie eindeutig von der Gruppe der Status-Farben zu trennen. Da mit Hilfe der Farben nur eine grobe Einteilung der Abflugrichtung vorgenommen und die detailliertere Richtungsbestimmung durch Textinformation gegeben wird, war die sichere Unterscheidung der Farben weniger wichtig und eine dezente Farbgebung akzeptabel. Label von abfliegenden Flugzeugen erhielten einen hellgrauen, Label von landenden Flugzeugen einen dunkelgrauen Hintergrund. Die Spitze der Label zeigt immer senkrecht zur Zeitleiter, um einfache zeitliche Einordnung des Flugs zu gewährleisten. Der Textaufbau im Labelkörper wurde zur besseren Orientierung des Anwenders immer gleich gehalten. Eingaben zum Status können direkt durch Tippen auf die Labelspitze vorgenommen werden, daraufhin wird der jeweils logisch nächste Status angezeigt. Label im Stack wurden rechteckig gestaltet, da hier eine exakte zeitliche Einordnung nicht notwendig ist.

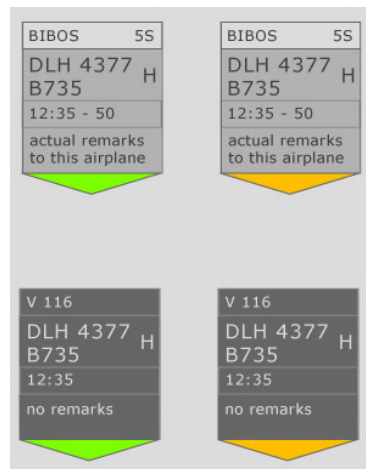


Abbildung 31: Fallstudie 2 - g.3.4: Label (an der Zeitleiter)

(g.3.5) Stacks

Die vier Stacks in den Bildschirmecken zeigten den zukünftigen, geplanten Verkehr (> 6 min; rechte Seite) bzw. den vergangenen Verkehr (linke Seite). Sowohl Anflüge als auch Abflüge wurden in ihrem geplanten zeitlichen Verlauf dargestellt. Die Informationsmenge im Stack sollte begrenzt sein, da zu diesem Zeitpunkt nur wenige Informationen relevant sind. Diese Daten können in einer Zeile des Labels dargestellt werden, so dass im Stack alle Informationen einer Art direkt übereinander liegen (Bergner et al., 2008). Auf diese Weise können sie leichter auf einen Blick erfasst und miteinander verglichen werden.

(g.3.6) Kontextmenü

Das Kontextmenü (Abbildung 32) soll zusätzliche Eingaben ermöglichen, wie z. B. die Korrektur einer versehentlichen bzw. falschen Statureingabe, das Überspringen eines Status, die Eingabe eines Missed Approach oder die Anpassung von Flugdaten. Der Aufruf erfolgte durch Klick auf einen spezifischen Bereich des Labels. Im Gegensatz zu einem statischen Menü bot ein mit dem Label sich mitbewegendes Kontextmenü den großen Vorteil, dass die Aufmerksamkeit des Anwenders bei dem Label bleibt, mit welchem er sich gerade beschäftigt (vgl. Bergner et al., 2008). Die Auswirkungen der Menüeingaben können direkt beobachtet werden. Auch sind nur kurze Wege mit dem Eingabegerät notwendig, wodurch sich gemäß Fitts' Law (Fitts, 1954, 1992) Präzision und Bediensicherheit erhöhen.

The screenshot shows a flight status interface with the following elements:

- Header:** ABC 4377 B 740
- status:** A row of five colored buttons: Initial (purple), LineUp (yellow), Clear (green), Warning (red), and Cross (blue).
- taxiway:** A grid of letters: W, K, J, H, G, F, D, B. Below H is an S.
- remarks:** A text input field with the placeholder "actual remarks to airplane".
- flight information:** A row of four fields: ABC 4377, B 740, H, and 12:35 - 50.
- Footer:** An "Undo" button.

Abbildung 32: Fallstudie 2 - g.3.6 Kontextmenü

(g.4) Detaillierung

Im nächsten Schritt erfolgte die Detaillierung des Entwurfs (Abbildung 33). Aufbau und einzelne Elemente wurden variiert und optimiert. Veränderungen ergaben sich vor allem bei der Darstellung der Flugzeug-Label, da diese aus Sicht der Nutzer noch nicht exakt die benötigten Informationen enthielten bzw. die Eingaben auf dem Label noch zu präzise erfolgen mussten. Auch wurden in dieser Stufe neue Funktionalitäten implementiert, wie beispielsweise eine Darstellung für Flüge, deren zeitliche Einordnung dem Lotsen vom System vorgeschlagen wird und vom Lotsen aktiv bestätigt werden muss (Ghost-Darstellung).

(g.4.1) Aufbau Screen

Der Aufbau des HMI (g.3) wurde im Wesentlichen beibehalten. Während im vorherigen Schritt vor allem die Funktion einzelner Elemente festgelegt wurde, stand nun die Ausarbeitung der Gestaltungsideen und die Anpassung des Designs an realistische Gegebenheiten (z. B. Verkehrsaufkommen) im Fokus. Überflüssige Gestaltungselemente wurden herausgenommen, um eine klare und übersichtliche Darstellung zu erhalten.

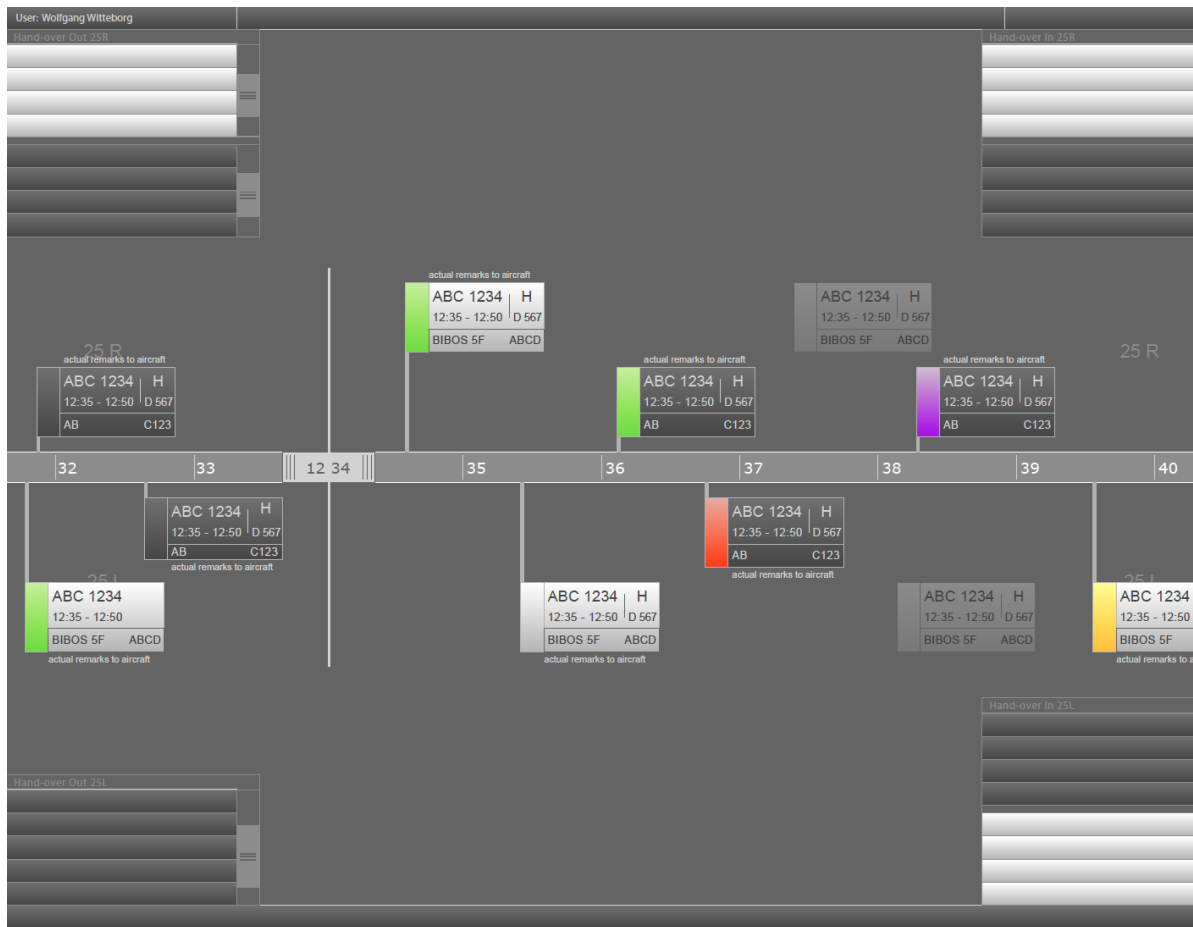


Abbildung 33: Fallstudie 2 - g.4

(g.4.3) Zeitleiter

Die Gestaltung der Zeitleiter wurde leicht variiert, z. B. durch stärkere Hervorhebung der Jetzt-Zeit. Zur besseren Unterscheidbarkeit von Anflügen und Abflügen wurden die jeweiligen Label in vier Zeilen statt in zwei angeordnet. Zusätzliche Funktionen wurden implementiert, z. B. die Anzeige einer Runway-Sperrung direkt an der Zeitleiter (Abbildung 34), so dass sie vom Lotsen nicht übersehen werden kann. Die Eingabe der Sperrung sollte schnell und einfach erfolgen. Daher wurden für diese Funktion eigene Bedienfelder erstellt, welche die Eingabe und das Aufheben einer Sperrung mit einem Klick ermöglichen.

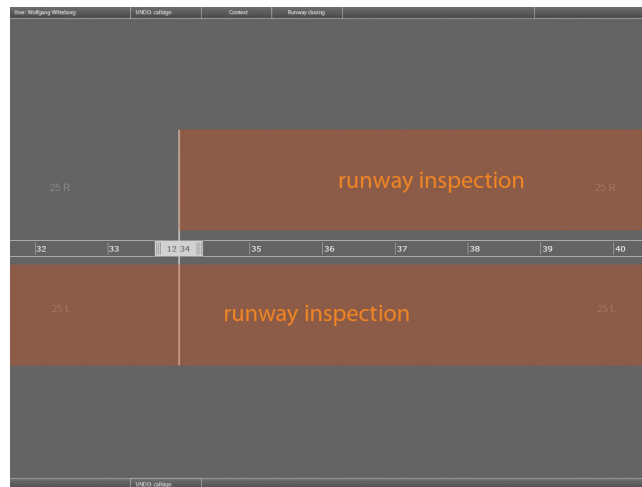


Abbildung 34: Fallstudie 2 – Anzeige der Sperrung eines Runways

(g.4.4) Label

Wesentlicher Schritt war zu diesem Zeitpunkt eine Veränderung der Labelform zu einem Rechteck. Die Spitze wurde durch einen farbigen Balken ersetzt, so dass die Farben besser erkennbar sind und diagonale Linien vermieden werden. Ergänzt wurden die Label durch einen Bereich für Anmerkungen (Remarks), welcher sich ober- bzw. unterhalb des Labels befindet, so dass alle das Flugzeug betreffenden Informationen am oder im Label zu finden sind. Die Zuordnung zu einer konkreten Zeit auf der Zeitleiter erfolgt nun durch eine Linie.

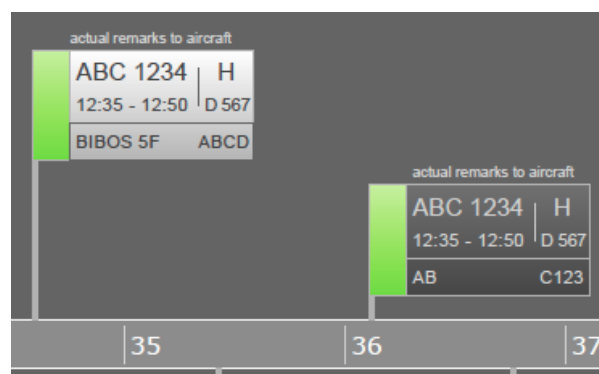


Abbildung 35: Fallstudie 2 - g.4.4: Label

(g.4.5) Stacks

Position und Gestaltung der Stacks blieben weitestgehend erhalten. Jedoch wurde die Anordnung der Label verändert, so dass Anflüge und Abflüge auch hier in getrennten Bereichen zu finden sind.

(g.4.6) Kontextmenü

Das Kontextmenü wurde weiter präzisiert und insbesondere Möglichkeiten zum Aufruf des Menüs und zum Rückgängigmachen von Eingaben erprobt.

(g.5) Feinabstimmung

Der folgende Schritt beinhaltete die Feinabstimmung des Designs. Die Darstellung wurde erneut reduziert, so dass nur noch die benötigten Elemente angezeigt werden. Die Erfahrungen aus den Realzeitsimulationen bzgl. Bedienbarkeit, logischen Abläufen und Informationsgehalt wurden umgesetzt. Dieser Entwurf stellte einen vorläufigen Abschluss dar. Er wurde daher in Form eines Styleguides festgehalten und dem Auftraggeber übergeben.

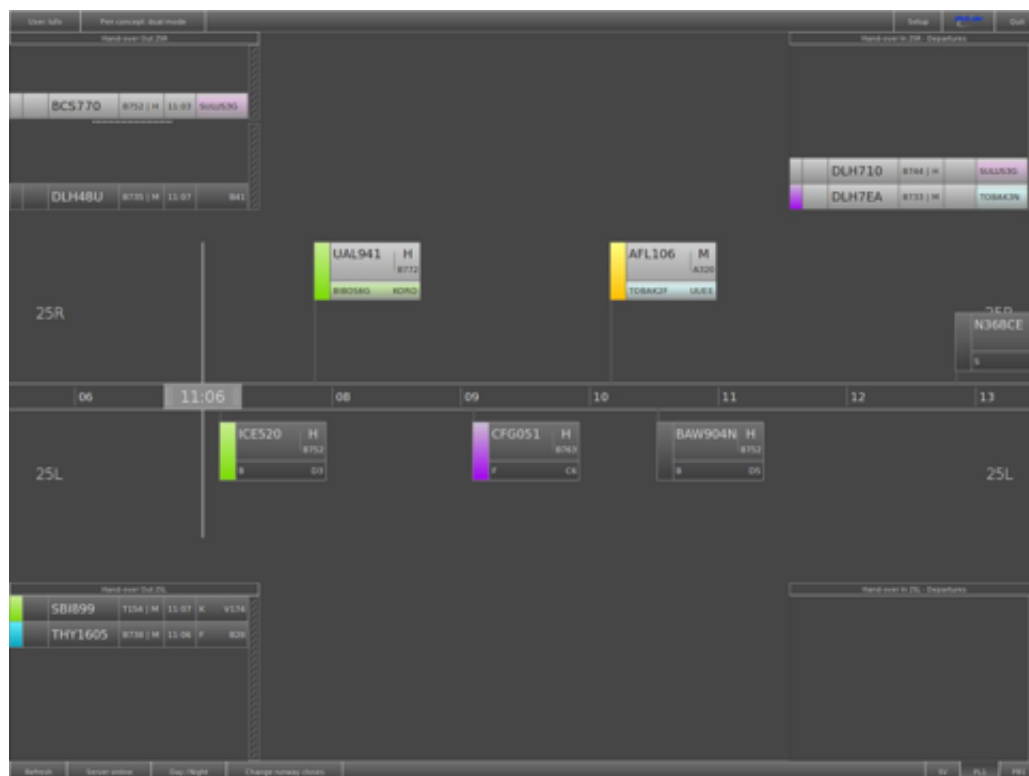


Abbildung 36: Fallstudie 2 - g.5

(g.5.1) Aufbau Screen

Der Aufbau des HMI wurde im Wesentlichen beibehalten und nur in Details geändert. So hatte beispielsweise die Evaluation ergeben, dass anfliegende Flugzeuge erst für den Lotsen relevant werden, wenn sie einige Minuten vor der geplanten Landung stehen, und sie daher nur an der Zeitleiter, nicht aber in den Stacks auf der rechten Seite dargestellt werden müssen.

(g.5.3) Zeitleiter

Die Darstellung der Zeitleiter wurde erneut reduziert, so dass nur noch die Jetzt-Zeit grau hinterlegt und damit hervorgehoben ist.

(g.5.4) Label

Die Label des Gestaltungsentwurfs wurden nun mit realistischen Daten gefüllt, um besser abschätzen zu können, ob die benötigten Informationen in angemessener Art und Weise dargestellt werden, bzw. den partizipierenden Nutzer die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit zu erlauben. Zur Eingabe des folgenden Status kann nun statt des Statusbereichs das gesamte Label genutzt werden, so dass Fehleingaben durch zu kleine Bedienfelder bei dem sich bewegenden Label vermieden werden. Die Statusfarben wurden durch eine weitere ergänzt: Eine blaue Markierung kennzeichnet nun diejenige Flugzeuge, welche nach ihrer Landung noch eine Start- bzw. Landebahn kreuzen müssen und dazu eine Freigabe des Towers benötigen.



Abbildung 37: Fallstudie 2 - g.5: Label

(g.5.5) Stacks

Da Anflüge nicht mehr in den rechten Stacks dargestellt werden mussten, blieb mehr Raum für die Anzeige der Abflüge. Dies wurde genutzt, um die Labels zu vergrößern, so dass sie leichter anwählbar sind.

(g.5.6) Kontextmenü

Die Darstellung des Kontextmenüs wurde auf das Notwendige reduziert und die Interaktion detailliert festgelegt. So wird das Menü nun durch einen Tipp auf das jeweilige Label mit der Stiftrückseite aufgerufen, anschließend können Daten wie z. B. Abflugrichtung, Parkposition, Taxiwege und Status des Flugzeugs verändert sowie Anmerkungen (Remarks) hinzugefügt werden. Die Eingaben erfolgen durch einen Tipp auf das jeweilige Feld sowie ein Klick auf den OK-Button, wodurch auch

gleichzeitig das Kontextmenü-Fenster geschlossen wird. Um den Unterschied zwischen Menü-Buttons und direkten Auswahl-Buttons zu verdeutlichen, wurden diejenigen Felder mit einem Dreieck markiert, welche ein weiteres Menü verbergen, das sich bei einem Klick auf das Feld öffnet.

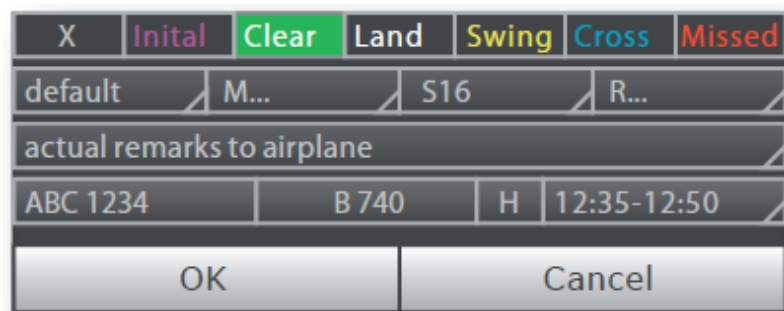


Abbildung 38: Fallstudie 2 - g.5.6: Kontextmenü

Besondere Herausforderungen und ihre Umsetzung

Bei der Entwicklung des HMI waren einige besondere Herausforderungen zu meistern. Auf welche Weise diese in der Gestaltung umgesetzt wurden, wird im Folgenden beschrieben.

Eine Herausforderung war die Berücksichtigung des aktuellen **Informationsbedarfs** des Lotsen, der sich abhängig von der jeweiligen Verkehrssituation verändert: Bei weit entfernten Flugzeugen reichen wenige Daten, um das Flugzeug zu identifizieren und zu bestimmen, zu welchem Zeitpunkt es die Landebahn benötigt. Je näher das Flugzeug der Landung kommt, desto wichtiger sind Informationen zum weiteren Verlauf, wie beispielsweise die Abrollwege oder die Parkpositionen. Auch unterscheidet sich der Informationsbedarf je nach Verkehrsaufkommen, der Tageszeit oder der Besetzung der Arbeitspositionen sowie abhängig von dem jeweiligen Nutzer. Das HMI sollte Informationen situationsgerecht darstellen, um weder zu viele noch zu wenige Informationen anzubieten, und nur minimale kognitive Ressourcen für die Informationssuche, -auswahl und -integration in den verfügbaren Systemen zu beanspruchen (vgl. Kapitel 3.1.2). Bei der Gestaltung wurde daher berücksichtigt, dass Informationen zu unterschiedlichen Zeitpunkten und Situationen unterschiedlich relevant für den Benutzer sind (Prinzip der interessensrelevanten Visualisierung, vgl. König et al., 2008a). Unnötiger Aufwand durch überflüssige oder unvollständige Daten bzw. Daten in ungeeigneter Form oder an ungeeignetem Ort sollte vermieden und der rasche Aufbau eines korrekten Pictures gefördert werden. Daher wurde in früheren Projektphasen der Informationsbedarf abhängig von Verkehrssituation und Situation des jeweiligen Flugzeugs erhoben. In der Gestaltung wurde dieses Prinzip beispielsweise durch die unterschiedliche Gestaltung der Label im Stack und an der Zeitleiter umgesetzt, d. h. ein Label enthält immer genau die Informationen, die in dieser Phase des An- oder Abflugs benötigt werden. Der Detailgrad nimmt mit zunehmender Nähe zum

Start- oder Landezeitpunkt zu.

Eine weitere Herausforderung bot die **Komplexität des Arbeitssystems**, welches mehrere Komponenten enthielt (vgl. König et al., 2008a). Die Integration von zwei technischen Systemen mit unterschiedlicher Hardware sowie unterschiedlichen Anzeige- und Interaktionsprinzipien sollte diese Komplexität zwar reduzieren und die Informationsgewinnung und die Eingaben erleichtern. Jedoch führte diese Integration dazu, dass nun ein System unterschiedliche Prinzipien vereinigen sollte, wodurch die Komplexität von Interaktionen und Informationen (vgl. Kapitel 3.1.3) des integrierten HMI ein Problem werden konnte. Um dies zu vermeiden, wurde bei der Gestaltung zunächst die Informationsmenge reduziert, beispielsweise durch die Informationscodierung mit Farbe statt mit Text (vgl. König et al., 2008a). Auf diese Weise fällt dem Lotsen die visuelle Gruppierung und der Suchprozess leichter, da er beispielsweise bei der Suche nach einem Flugzeug, dessen Pilot ihn gerade erstmals angefunkelt hat, nur noch Flugzeuge ohne Statusfarbe berücksichtigen muss. Zur Komplexitätsreduktion trug außerdem die Aufteilung des Bildschirms in Interessensbereiche und die danach ausgerichtete Informationsmenge bzw. Detaillierung bei. So werden aktuell relevante und weniger relevante Informationen räumlich getrennt, und der Anwender kann bei hoher Beanspruchung seine Aufmerksamkeit auf die aktuell relevanten fokussieren. Die Komplexitätsreduktion wurde außerdem durch eine verringerte Varietät erreicht (vgl. König et al., 2008a), z. B. durch die Beschränkung der Interaktion auf nur ein Eingabegerät (Stift) und wenige Interaktionsprinzipien (Tipp bzw. Klick, Drag & Drop) sowie die Verwendung von wenigen und leicht unterscheidbaren Farben (vgl. König et al., 2008a, Bergner et al., 2008). Die Varietät wurde außerdem verringert, indem An- und Abflüge zwar klar unterschieden, jedoch nach den gleichen Prinzipien gestaltet wurden. Die Unterscheidung von An- und Abflügen erfolgt sowohl bei allen Labeln durch hell- bzw. dunkelgrauen Hintergrund, d. h. gleichartige Informationen werden auch auf die gleiche Weise codiert. Die Statusfarben werden bei An- und Abflügen auf die gleiche Weise dargestellt (Balken) und es wurden für die entsprechenden Informationen die gleichen Farben verwendet, beispielsweise grün für Lande- bzw. Startfreigabe. Diese Farben haben so immer die gleiche Bedeutung und orientieren sich an etablierten Farbhierarchien.

Die dritte Herausforderung bestand in der Umsetzung einer **einfachen und sicheren Interaktion**. Zwar nimmt der Anwender auch heute Eingaben mit unterschiedlichen Mitteln vor, wie beispielsweise Stimme (Funk) und Hand (Push-to-Talk, Tasten, ...). Da er währenddessen jedoch weiter den Verkehr überwachen muss, dürfen Interaktionen mit einem HMI nur wenig kognitive und visuelle Ressourcen beanspruchen (vgl. Kapitel 3.1.2). Die Eingaben auf einem gekoppelten HMI müssen daher schnell und einfach möglich sein. Als Anforderung nannten die Lotsen daher eine einfache Interaktion wie beispielsweise einen Touch Input, bei dem mit einem Tipp Eingaben reali-

siert werden, wie das heute z. B. beim System Tower-TID der Fall ist. Eine Sicherheitsabfrage oder Mehr-Klick-Lösung wurde abgelehnt. Aus diesem Grund wurde die Interaktion mit einem Stift-Display ausgewählt. Fehleingaben durch Aufstützen mit dem Handballen kommen hier, im Gegensatz zu einigen Touch-Screens, nicht vor, da nur Eingaben mit der Stiftspitze oder der Stiftrückseite angenommen werden. Die Spitze erlaubt präzises Arbeiten und sogar handschriftliche Eingaben, was z. B. für Notizen hilfreich ist. Die Eingabe von Stati wurde in einer besonders einfachen Interaktion umgesetzt (Klick auf Label), da diese ständig vom Lotsen vorgenommen werden muss. Die Fläche des Labels wurde so groß gewählt, dass sie auch bei nur kurzer Aufmerksamkeitszuwendung leicht und zuverlässig getroffen werden kann. Eingaben im Kontextmenü werden seltener vorgenommen und konnten daher mit der etwas aufwändigeren Eingabe über die Stiftrückseite belegt werden.

Die Umsetzung des HMI für den Realbetrieb war im Rahmen der Neubauprojekte in Frankfurt, München und Berlin geplant (Bergner et al., 2008). Das Konzept wurde inzwischen an die Gegebenheiten eines realen Tower-Betriebs in einem 4-Bahn-System angepasst und läuft seit Herbst 2011 im Tower Frankfurt. Ergebnisse aus den Realzeit-Simulationen zeigen jedoch, dass das HMI zumindest unter diesen Bedingungen die Anforderungen erfüllt. Die Einarbeitungszeit der Lotsen in das neue System wurde mit zunehmendem Reifegrad des Prototypen geringer. Die Versuchsteilnehmer konnten schon nach kurzer Zeit sicher mit dem HMI arbeiten. Befragungen ergaben eine positive Bewertung der Gestaltung, der Interaktion sowie eine hohe Akzeptanz des Tower-HMI durch die zukünftigen Nutzer. Die ergonomische und Design-Qualität wurde auch extern bestätigt. Das Tower-HMI erhielt bisher den IF Design Award 2009, den Red Dot 2010 sowie Nominierungen für den deutschen Designpreis 2011 und 2012.

4.3.4 Erkenntnisse über den Prozess

Die iterative Gestaltung des HMI ermöglichte die Entwicklung einer gebrauchstauglichen und von den zukünftigen Anwendern akzeptierten Lösung. Indem zunächst durch das Entwickeln einfacher Konzepte und die Definition von Interessensbereichen und Informationsflüssen ein Gestaltungsrahmen festgelegt wurde, konnten die weiteren Anpassungen, Detaillierungen und Veränderungen eingeordnet und leichter beschrieben werden. Das Vorgehen in mehreren Iterationsstufen mit mehrfacher Evaluation und Anpassungen von Nutzungskontext und Anforderungen gemäß DIN EN ISO 9241-210 eignete sich hierfür gut.

Bei der Anwendung des iterativen Vorgehens zeigte sich jedoch, dass die Beschreibung und Benennung einzelner Entwürfe, Varianten und Komponenten nicht immer leicht ist. So muss im Einzelfall bestimmt werden, welche Unterschiede bei der Gestaltung dazu führen, dass zwei Gestaltungsentwürfe als unterschiedliche Konzepte oder nur als zwei Varianten gezählt werden. Bei einer großen Anzahl von Konzepten und Varianten sowie bei der Darstellung dynamischer Inhalte stößt das schrittweise Vorgehen und die Darstellung mit Text und Bildern an seine Grenzen. Die notwendige Verwaltung und Dokumentation einer großer Variantenzahl wird in DIN EN ISO 9241-210 nicht behandelt, ist jedoch bei einem solch umfangreichen Projekt notwendig, z. B. um Veränderungen verfolgen und den Überblick über bisherigen Lösungsversuche zu behalten oder auch um einzelne Lösungen auf konkrete Anforderungen beziehen zu können. Eine Präzisierung und Erweiterung der Norm durch eine einfache, übersichtliche Darstellung des Vorgehens sowie der einzelnen Aktivitäten wäre daher sinnvoll, um den Projektverlauf, die Ergebnisse der Aktivitäten sowie der Zusammenhänge abzubilden und zu kontrollieren.

4.4 Fallstudie 3: Evaluation mit unterschiedlichen Methoden

Die dritte Fallstudie beinhaltet das Vorgehen in einer einzelnen Aktivität sowie Erkenntnisse aus ihrer Durchführung im Kontext Flugsicherung. Am Beispiel einer konkreten Evaluationsphase werden mögliche Vorgehensweisen und einsetzbare Methoden und die Konsequenzen des Einsatzes beschrieben.

4.4.1 Ausgangssituation und Ziel des Projekts

Im Rahmen des Projekts „Wettbewerbsfähiger Flughafen“ (WFF) wurde in einem iterativen Vorgehen ein HMI für Tower-Fluglotsen entwickelt (vgl. Kapitel 4.3, König et al., 2008a, Bergner et al., 2008; König et al., 2009b). Ziel war die Gestaltung eines HMI zur integrierten Darstellung von An- und Abflügen kombiniert mit einer neuen Bodenlageradar-Anzeige für den Arbeitsplatz eines Tower-Kontrolllotsen am Flughafen Frankfurt/Main.

Die dabei entwickelten Gestaltungslösungen für ein HMI wurden zu mehreren Zeitpunkten bzw. in unterschiedlichen Entwicklungsstadien evaluiert, um den Erfüllungsgrad der Anforderungen zu bestimmen und weiteren Gestaltungsbedarf abzuleiten. Dabei wurden unterschiedlichen Methoden eingesetzt. Um die Perspektive der zukünftigen Anwender frühzeitig in das Projekt einzubringen, wurde das Projektteam aus Designer, Ergonomen, Ingenieuren und Softwareentwicklern von Beginn an durch einen Fluglotsen ergänzt. Für Datenerhebungen standen außerdem weitere aktive Lotsen des Towers Frankfurt zur Verfügung.

4.4.2 Prinzip

Diese Fallstudie beschreibt Ziel, Vorgehen und Erkenntnisse eines einzelnen Arbeitsschritts bzw. einer einzelnen Phase ausführlich und repräsentiert damit eine Detaillierung einer Phase (vgl. Abbildung 39). Es wurde eine Evaluation aus der Mitte des Projekts ausgewählt, da hier mehrere Methoden gleichzeitig zum Einsatz kamen, während in frühen Projektphasen vor allem Workshops und in späteren Projektphasen vor allem Realzeitsimulationen eingesetzt wurden.

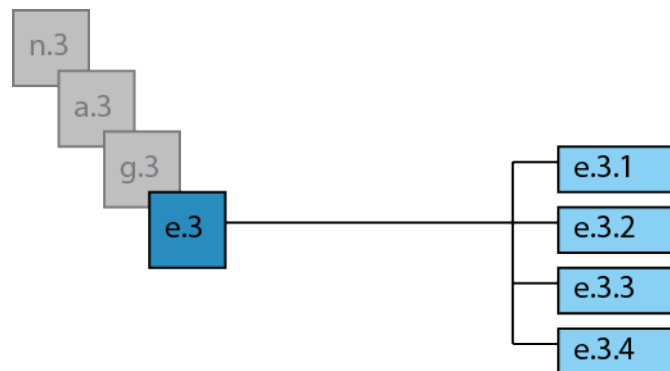


Abbildung 39: Fallstudie 3 - Prinzip

4.4.3 Vorgehen und Inhalte

Im Rahmen des Projekts wurden mehrfach Gestaltungslösungen entwickelt und evaluiert. Jede Evaluation wurde individuell an den aktuellen Stand des Designs, die vorhandenen Prototypen und die damit verbundenen Möglichkeiten angepasst. So wurden zu Beginn eher Workshops mit Experten und Nutzern, im späteren Projektverlauf und mit der Umsetzung von Prototypen zunehmend Realzeitsimulationen mit Nutzern durchgeführt. Ausgehend von den festgelegten Anforderungen erfolgte zu Beginn jeder Evaluation die Definition der Qualitäts- bzw. Bewertungskriterien des HMI, anschließend die Planung, Durchführung und Auswertung der Evaluation sowie die Ableitung von Konsequenzen für die nächste Iteration. Nachfolgend werden Evaluationskriterien sowie eingesetzte Methoden für der Evaluationen im Projekt beschrieben.

Evaluationskriterien

Zwei wesentliche Qualitätskriterien des HMI waren die betriebliche und die arbeitswissenschaftliche Eignung, d. h. das HMI sollte betrieblichen Anforderungen genügen und gleichzeitig minimale Ressourcen des Nutzers beanspruchen sowie zu hoher Zufriedenheit führen. Um dies zu beurteilen, ist das Testen des HMI unter realen Bedingungen notwendig, d. h. während der Bearbeitung realer Aufgaben in einem realistischen Kontext. Die Bewertungskriterien leiteten sich aus den zahlreichen Anforderungen ab, welche jedoch nicht immer konsistent waren bzw. teilweise in Konflikt miteinander standen. Zudem hatte das Projekt nicht alleine die Erfüllung der schon formulierten Anforderung zum Ziel, sondern auch die Weiterentwicklung einer innovativen Idee und damit verbunden die Weiterentwicklung und Anpassung von Anforderungen. Daher wurden die Bewertungskriterien für die Evaluation zunächst kurz formuliert und die Bewertung des HMI dann mittels Interview erhoben, so dass der Gesprächsverlauf flexibel angepasst und neue Aspekte aufgegriffen werden konnten. Diese Bewertungskriterien ließen sich im Wesentlichen fünf Gruppen zuordnen:

Zum **Design** wurden alle Anforderungen gezählt, welche die eingesetzten Gestaltungsmittel betreffen. Dazu gehörten beispielsweise die farbliche Gestaltung, Schriftgrößen, verwendete Formen und Muster. Es sollte beurteilt werden, wie aufgeräumt, klar strukturiert und übersichtlich das HMI empfunden wurde. Kriterien aus dem Design beinhalteten jedoch auch inhaltliche Aspekte, wie beispielsweise die Informationsmenge, der Zeitpunkt der Informationsvermittlung etc. Ein gutes Design sollte eine klare Struktur, eine optimale Informationsmenge und die aktuell benötigten Informationen in jeder Situation, eine aufgabenangemessene farbliche Gestaltung, eine gute Ablesbarkeit sämtlicher Inhalte etc. aufweisen. Negativ würden überflüssige Gestaltungsmerkmale (ohne erkennbaren Nutzen), eine unübersichtliche Anordnung der Elemente oder eine zu kleine Schrift bewertet werden.

Die **Logik des HMI** berücksichtigte, inwieweit der Aufbau des Bildschirm die Arbeitsabläufe selbst abbildet oder zumindest unterstützt, ob sich einzelne Elemente an dem vom Nutzer erwarteten Platz befinden (Erwartungskonformität), und ob Eingaben des Nutzers den erwarteten Effekt haben. Die Beurteilung der Logik ist besonders schwierig, da hier die mentalen Modelle über das Systemverhalten sowie die internalen Strategien der Nutzer eine wichtige Rolle spielen. Je nachdem, ob das mentale Modell eher auf einen zeitlichen Prozess oder räumlich orientiert ist, muss ein HMI entweder diesen Prozess abbilden oder die Position einzelner Objekte im Raum. Das Verschieben eines Flugzeug-Labels entlang der Zeitleiter (vgl. Kapitel 4.3 / Fallstudie 2) würde im ersten Fall eine zeitliche Umplanung, im zweiten Fall eine räumliche Positionierung bedeuten. Der Logik widersprechen würde beispielsweise, wenn Informationen zu einem anfliegenden Flugzeug an unterschiedlichen Stellen des HMI verteilt wären, oder wenn räumliche und zeitliche Metaphern vermischt oder vertauscht wären.

Unter **Bedienbarkeit** wurden Kriterien zusammengefasst, die sich mit den Eingaben des Lotsen auf dem HMI beschäftigen, wie beispielsweise eine Bewertung, ob Eingaben auf dem Touchscreen zuverlässig erkannt und schnell genug verarbeitet werden, ob die Größe der Bedienfelder ausreichend ist oder ob sich Felder schnell genug oder langsam genug bewegen. Zu einer guten Bedienbarkeit gehört auch eine nicht zu hohe Zahl an unterschiedlichen Interaktionsmöglichkeiten, so dass sie noch vom Nutzer erinnert und zugeordnet werden können. Weiter kann berücksichtigt werden, ob der Nutzer alle benötigten Einstellungen vornehmen kann, und ob die Eingaben in das System mit akzeptabler Aufmerksamkeit und ausreichend schnell möglich sind. Fehleingaben oder umständliches Zurücknehmen dieser Fehler verringern die Bedienbarkeit, eine einfache, schnell erlernbare und robuste Interaktion führt zu einer hohen Bedienbarkeit.

Für die Bewertung eines HMI in einer Simulation spielt auch die **Performance** des technischen Systems eine wesentliche Rolle. Ist sie beeinträchtigt, weil beispielsweise die Daten nicht schnell genug verarbeitet werden können, kann dies dazu führen, dass Eingaben des Nutzers verspätet erfasst und verarbeitet oder Informationen zu spät angezeigt werden. Eine stockende oder verlangsamte Interaktion kann die Bewertung der Bedienbarkeit und des Design negativ beeinflussen und sogar zur Ablehnung des Systems führen. Dies betrifft nicht nur die Simulation, auch für die spätere Umsetzung des HMI für einen realen Arbeitsplatz müssen die Latenzzeiten bei der Interaktion für den Nutzer akzeptabel sein. Daher wurde die Systemperformance aus Benutzersicht als Kontrollvariable mit erhoben.

Zur Klärung, inwieweit sich das HMI voraussichtlich für den Betrieb im Tower und die sichere und schnelle Erfüllung der Arbeitsaufgabe eignet, wurden zudem Fragen zu einem zukünftigen **Einsatz im Tower** gestellt. So wurde beispielsweise erhoben, ob sich der Lotse prinzipiell vorstellen kann, mit einem solchen HMI im Tower zu arbeiten, welche Kriterien für einen Einsatz mindestens erfüllt sein müssten und welche Vorteile und Risiken er sieht.

A) Befragung mit Demonstrator

Die Demonstrator-Untersuchung fand an zwei Tagen in einem Raum am Tower Frankfurt statt, so dass die Teilnehmer (Tower-Lotsen) ihre Arbeitspausen oder den Weg zum bzw. vom Arbeitsplatz für einen Besuch nutzen konnten und eine hohe Zugänglichkeit der Untersuchung gewährleistet war. Die Teilnahme an der Befragung erfolgte freiwillig außerhalb der Arbeitszeit, einzeln oder in Gruppen. Der Aufbau mit zwei Rechnern und zwei Displays ermöglichte den Teilnehmern, die beiden neuen HMI kennenzulernen und auszuprobieren, Fragen an das Entwicklerteam zu stellen und ihre Meinung mitzuteilen.

Die Untersuchung beinhaltete drei Komponenten: Im ersten Schritt erhielten die Teilnehmer eine kurze Einführung in Aufgabe und Funktionsweise des HMI, im zweiten Schritt erfolgte eine freie Explorationsphase am Demonstrator (Abbildung 40). Um eine realistische Nutzung zu ermöglichen, enthielt das System gespeicherte Flugdaten, welche den An- und Abflugverkehr abbildeten und dem Teilnehmer einfache Interaktionen wie beispielsweise das Verschieben von Flügen oder die Eingabe von Stati erlaubten. Das Interaktionsverhalten mit dem System, die Nutzerkommentare sowie die Eindrücke der Entwickler aus der Beobachtung wurden notiert. Im dritten Schritt wurden die Teilnehmer gebeten, zuerst einen Fragebogen zur Bewertung der HMI auszufüllen und anschließend in einem freien Interview ihre Eindrücke zusammenzufassen bzgl. Design, Logik bzw. Abläufe, allgemeine Bedienbarkeit, Systemperformance sowie eine Einschätzung der Einsatzmöglichkeit im Tower Frankfurt. Berücksichtigt wurden zum einen die Bewertung des HMI aus Nutzersicht

(subjektiv), zum anderen die Einschätzung der Versuchsleiter nach Beobachtung und Interview (objektiv). Aus der Zusammenführung der subjektiven und objektiven Daten wurde der Veränderungsbedarf des HMI sowie neue Bewertungskriterien abgeleitet.

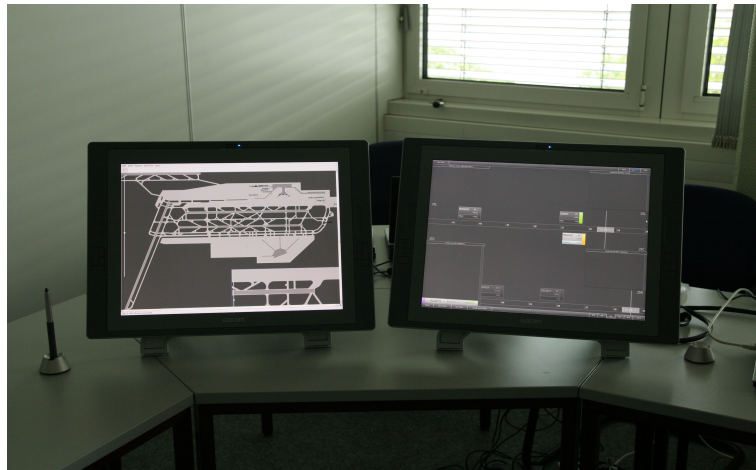


Abbildung 40: Fallstudie 3 - Aufbau Demonstrator

B) Simulation

Um eine Bewertung des HMI auch unter möglichst realistischen Bedingungen zu ermöglichen, wurde zudem eine Evaluation im 3D-Echtzeit-Tower-Simulator der DFS durchgeführt (vgl. König et al., 2008b, Bergner et al., 2008, Kap. 3.4.4). Dieser bildet den Arbeitsplatz des Lotsen realitätsnah inklusive einer nahezu vollständigen Rundumsicht ab und bietet damit eine ähnliche Arbeitssituation wie der reale Tower. Die Simulations-Infrastruktur aus einem gekoppelten 3D Tower- und Center-Simulator (vgl. Bergner et al., 2008) kann den Flugverkehr über mehrere Arbeitspositionen abwickeln. Die Simulationsumgebung umfasst daher Arbeitsplätze von Anflugkontrolle, Tower und Vorfeldkontrolle (vgl. König et al., 2008b), so dass Eingaben und Funkverkehr analog zum normalen Tower-Betrieb vorgenommen werden werden. Die Rolle der Piloten wird von so genannten „Pseudopiloten“ übernommen, welche die Flugzeuge im Simulator-System steuern und Anweisungen der Lotsen ausführen können.



Abbildung 41: Fallstudie 3 - Simulator

Zur Datenerhebung wurde zum einen eine direkte, teilnehmende Beobachtung am Arbeitsplatz des Tower-Lotsen eingesetzt, bei der ein Versuchsleiter direkt neben dem Lotsen Verhalten und Kommentare unmittelbar erfassen und notieren konnte. Zur Erfassung der mentalen Prozesse wurde der Lotse gebeten, seine Gedanken im Umgang mit dem System laut zu äußern (Thinking Aloud, vgl. Kapitel 3.4.4). Zur Ergänzung und Verifikation der Beobachtungen stellte der Versuchsleiter Fragen zur Tätigkeit, den aktuell benötigten Informationen und der Bedienung des HMI (Beobachtungsinterview, vgl. Kapitel 3.4.4). Zusätzlich wurden Videoaufzeichnung und Fotos der Interaktionen auf den Displays erstellt, um retrospektiv eine präzisere Auswertung von Verhalten und Feedback zu ermöglichen. Eine Erfassung des Blickverhaltens des Lotsen mit Hilfe eines kopfgetragenen Blickbewegungsanalyse-Systems wurde zu diesem Zeitpunkt noch nicht vorgenommen, da in diesem Entwicklungsstadium des HMI das Design, die Logik der Abläufe sowie die Bedienbarkeit im Mittelpunkt standen. Eine Erfassung der Fixationspunkte des Lotsen zur Überprüfung, inwieweit die angestrebte Aufmerksamkeitslenkung erfolgreich war, wäre zwar wünschenswert, aufgrund der zu geringen Messgenauigkeit des verfügbaren Blickbewegungsanalyse-Systems jedoch nicht realisierbar. Eine Untersuchung der Head-Down- und Head-Up-Anteile des Blickverhaltens (vgl. Kapitel 3.1.2; Pinska, 2007; Hilburn, 2004) ist erst dann aussagekräftig, wenn das HMI ein nahezu störungsfreies und realistisches Arbeiten ermöglicht, was zu dem gegebenen Zeitpunkt noch nicht der Fall war.

Als zweite Komponente wurde nach jeder Simulation ein teilstrukturiertes Einzelinterview durchgeführt. Mit Hilfe eines im Projektteam entwickelten Fragebogens wurden die subjektive Bewertung des Probanden zu Design, Abläufen, Bedienbarkeit und Performance erfragt. Anschließend wurden

vom Versuchsleiter einzelne Situationen und Aussagen des Lotsen aus der Simulation aufgegriffen und der Lotse gebeten, diese detaillierter zu erläutern, um etwaige Unklarheiten und aufgekommene Fragen von Versuchsleiter und Teilnehmern zu klären. Zum Abschluss wurden mögliche Anpassungen des Simulationsaufbaus und -ablaufs zur Optimierung der folgenden Evaluationen besprochen.

Wie schon bei der Demonstrator-Befragung wurden auch in der Simulation sowohl subjektive als auch objektive Daten zur Bewertung des HMI erhoben und der Veränderungsbedarf des HMI sowie neue Bewertungskriterien abgeleitet. Auf eine quantitative Auswertung des Interaktionsverhaltens, beispielsweise zur Bestimmung der Teilnehmerleistung, wurde aus mehreren Gründen verzichtet. Zum einen ist dies nur sinnvoll, wenn das HMI ohne Performanceeinbußen läuft. Ein Prototyp ist hingegen insbesondere in frühen Projektstadien ein mehr oder weniger einfaches Werkzeug, um Funktionalitäten oder Designaspekte zu testen und läuft daher nicht immer störungsfrei. Die Übertragung der Erkenntnisse zur Bedienleistung oder zum Blickverhalten auf die Realität ist bei der Verwendung eines einfachen Prototyps daher nur begrenzt möglich. Zum anderen unterscheidet sich die Situation im Simulator von der im Tower an einigen Stellen, so dass auch mit den vertrauten Arbeitsmitteln ein verändertes Verhalten der Lotsen wahrscheinlich ist. Hinzu kam, dass der Einsatz des HMI mit veränderten Arbeitsabläufen im gesamten Arbeitssystem einherging sowie, in diesem Projekt, auch mit einem veränderten Bahn-Layout, da das Tower-HMI erst im neuen Tower in Frankfurt eingesetzt werden sollte. Damit verbunden war ein Wechsel vom 3-Bahn- auf ein 4-Bahn-System (durch Hinzunahme der Landebahn Nord-West), welcher Veränderungen in den Arbeitsstrategien erforderte. Das HMI konnte demnach nur als Teil eines sich verändernden und nicht vollständig bekannten komplexen Systems betrachtet und nicht getrennt vom neuen Flughafen-Layout bewertet werden (vgl. z. B. König et al., 2008a). Daher fehlen Erfahrungs- bzw. Vergleichswerte (wie z. B. die Leistung im neuen Bahnsystem mit den herkömmlichen HMI oder die Leistung mit dem neuen HMI im alten Bahnsystem) und es wurde entschieden, vor allem die Bewertung durch die Lotsen und durch das Entwicklerteam zu berücksichtigen und diejenigen Kriterien zu erfüllen, die eine hohe Gebrauchstauglichkeit und betriebliche Eignung versprechen.

4.4.4 Erkenntnisse über den Prozess

Die Evaluation eines HMI für eine zukünftige, noch nicht vorhandene und relativ komplexe Arbeitssituation erwies sich als Herausforderung. Die Nutzer mussten sich bei ihrer Bewertung auf eine ihnen noch nicht vollständig bekannte Situation beziehen, wie beispielsweise einen noch nicht existierender Flughafenaufbau. Dies erschwerte u. a. die Erfassung der Arbeitsleistung, da Vergleiche mit der aktuellen Situation nicht möglich waren. Auch lagen nicht alle Anforderungen zu diesem Evaluationszeitpunkt präzise formuliert und operationalisiert vor. In der konkreten Evaluation zeigte

sich, dass diese Aktivität nicht nur genutzt werden kann, um die Erfüllung von konkreten Anforderungen zu erfüllen, sondern auch, um neue Anforderungen zu generieren, die dann in der nächsten Iteration formuliert und umgesetzt werden können. Die Art und Weise der Datenerhebung bot einen weiteren Vorteil: Während bei der Erhebung von quantitativen Daten beim Teilnehmer schnell der Eindruck entsteht, dass er selbst bzw. seine Leistung geprüft werden sollte, wurde bei der vorliegenden Evaluation deutlich, dass das HMI geprüft wird. Der Lotse erhielt eine Experten- bzw. Beurteilerrolle und wurde (kurzzeitig) Teil des Entwicklungsteams. Die Erfahrung, dass ihre Verbesserungsvorschläge angenommen und umgesetzt wurden, erhöhte die Identifikation mit der Gestaltungslösung sowie die Motivation, zur Weiterentwicklung beizutragen.

In der Simulation wurden die prinzipiellen Interaktionskonzepte und eine grundsätzliche Akzeptanz der Lotsen des entwickelten HMI bestätigt (König et al., 2008b). Die Teilnehmer empfanden die Simulationssituation nach eigener Aussage als realistisch. Allerdings zeigten diese und weitere Simulationen Abweichungen vom alltäglichen, im Tower gezeigten Verhalten. Dies verdeutlicht die Grenzen der Simulatorforschung, welche immer nur einen Ausschnitt der realen Situation bieten kann und damit nur begrenzt natürliches Verhalten der Probanden erlaubt. Auch die eingesetzten Methoden des Beobachtungsinterviews und des Lauten Denkens sowie die besondere Versuchssituation mit mehreren anwesenden Personen (Versuchsleiter, interessierte Kollegen und Projektmitarbeiter) beeinflussen den natürlichen Arbeitsablauf des Lotsen. Im Gegensatz zu einer Befragung mit einem Demonstrator oder mit einem Papier-Prototypen erlaubt eine Simulation dem Teilnehmer zwar, sich intensiver und unter realitätsnahen Bedingungen mit Gestaltung und Bedienung auseinanderzusetzen. Jedoch sorgen in einer Simulation weitere Aufgaben für Zeitdruck, so dass dem Nutzer nur geringe kognitive Ressourcen für die Bedienung und Bewertung des HMI bleiben. Die Planungs- und Handlungsprozesse werden immer wieder unterbrochen, so dass das beobachtete Verhalten nicht mehr natürlich ist. Zusätzlich kann ein hoher Geräuschpegel bei der Durchführung des Funkverkehrs stören. Allerdings ist die Arbeit im Tower-Simulator den Lotsen prinzipiell aus Aus- und Weiterbildung vertraut und auch die Interaktion mit anderen Personen ist im Arbeitsalltag der Lotsen üblich, so dass die Beeinträchtigung durch die Datenerhebung während der Arbeit als nicht gravierend eingeschätzt wurde (König et al., 2008b).

Die Simulation und der Einsatz eines Demonstrators erwiesen sich als sinnvolles Werkzeug zur Begleitung des Entwicklungsprozesses, zur Überprüfung von Designentwürfen und zur Validierung in einer realitätsnahen Umgebung. Sie gaben dem Projektteam wertvolle Hinweise zur Gestaltung und trugen damit wesentlich zu einer Optimierung der Entwürfe bei (vgl. auch König et al., 2008b). Auch die Integration der Nutzer erwies sich in mehrfacher Weise als sinnvoll. Zum einen konnte nur auf diese Weise die Evaluation unter realistischen Bedingungen durchgeführt werden, während das

Entwicklerteam nicht in der Lage gewesen wäre, die Lotsenaufgabe durchzuführen und die Gebrauchstauglichkeit des HMI für diese Aufgaben vollständig zu beurteilen. Zum anderen konnten die Anwender die Wertschätzung ihrer Meinung und Expertise sowie die Bedeutung ihres Beitrags für die Entwicklung ihrer eigenen, zukünftigen Arbeitsumgebung erleben. Als Ergebnis dieser Aktivität lag ein betrieblich und arbeitswissenschaftlich bewerteter Prototyp des HMI vor, welcher in weiteren Iterationen optimiert und nach Projektende vom Auftraggeber für den Tower Frankfurt umgesetzt wurde.

Die Anwendung des menschenzentrierten Gestaltungsprozesses erwies sich als sinnvoll, da er die Evaluation als Aktivität in einen Zusammenhang stellt und Grundlagen sowie Folgeaktivitäten aufzeigt. Für die Umsetzung der einzelnen Aktivitäten sieht sich DIN EN ISO 9241-210 jedoch nicht zuständig und verweist stattdessen auf weitere Quellen. Ein detaillierteres Eingehen auf die Bedingungen für eine Evaluation und auf ihren Zusammenhang mit Anforderungen und Gestaltungslösungen könnte jedoch bei der Auswahl geeigneter Methoden und der Umsetzung der Evaluationsergebnisse in den nächsten Iterationen helfen. Auch zeigte sich erneut, dass eine Beschreibung des Vorgehens, in diesem Fall der einzelnen Methoden und Kriterien der Evaluation, hilfreich sein könnte. Da in einer Evaluation häufig mehrere Methoden eingesetzt und mehrere Kriterien untersucht werden, ist eine Ergänzung der Aktivitäten durch Unteraktivitäten notwendig, u. a. um die teilweise unterschiedlichen oder sich widersprechenden Erkenntnisse dem jeweiligen Erhebungskontext zuzuordnen.

5 Modell des Entwicklungsprozesses

Die Anwendung von DIN EN ISO 9241-210 (Kapitel 4) in drei Fallbeispielen zeigte die prinzipielle Eignung des Vorgehens zur Entwicklung von HMI in der Flugsicherung. Das iterative Vorgehen mit mehrfachem Durchlaufen der vier Aktivitäten ermöglichte das Erreichen der gesetzten Ziele und ist insbesondere für die Entwicklung komplexer Systeme sinnvoll.

Jedoch werden in dieser Norm die Inhalte und das Vorgehen in den einzelnen Aktivitäten nur ansatzweise und allgemein beschrieben, so dass Präzisierungen und Anpassungen an die besonderen Herausforderungen im Bereich Flugsicherung notwendig sind. Auch zeigte sich, dass die Iteration nicht, wie in der Norm dargestellt, einfach eine mehrmalige Bearbeitung der Aktivitäten bedeutet, sondern dass eine inhaltliche Entwicklung stattfindet, welche wesentlich für den Gestaltungsprozess ist und daher in einem Modell berücksichtigt werden muss. Die drei Fallbeispiele zeigten zudem, dass sich die einzelnen Komponenten, Designelemente und Vorgehensschritte nur schwer beschreiben und fassen lassen. In einem Projektteam mit mehreren Personen und mehreren Fachdisziplinen kann dies zu Unklarheiten und Missverständnissen führen, wenn jeder eigene Bezeichnungen für die Ergebnisse der Aktivitäten verwendet oder sogar andere Vorgehensweisen verfolgt.

Um das Vorgehen transparent zu beschreiben sowie die Entwicklung von Wissen über den Nutzungskontext, die definierten Anforderungen und Gestaltungsentwürfe über den gesamten Projektverlauf zu begleiten und für alle Beteiligten sowie zukünftige Projekte transparent und nachvollziehbar zu dokumentieren, ist ein gemeinsames Vorgehensmodell notwendig. Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel ein Vorschlag beschrieben, wie der Entwicklungsprozess angelehnt an DIN EN ISO 9241-210 nachvollziehbar und übersichtlich dargestellt sowie die einzelnen Aktivitäten und Unteraktivitäten dokumentiert, verfolgt und kommuniziert werden können.

5.1 Beschreibung der Komponenten

5.1.1 Basiskomponenten

Ausgangspunkt des Vorgehensmodells ist eine vereinfachte Darstellung der Aktivitäten, wie sie zur Beschreibung der Fallstudien in Kapitel 4 (Abbildung 15) verwendet wurde. Die einzelnen Aktivitäten werden durch Kästchen (Elemente) visualisiert und mit einem Kürzel (n, a, g, e) sowie einer Ziffer eindeutig benannt, so dass die jeweilige Iterationsschleife bzw. der Zeitpunkt im Projekt erkennbar ist. Gleichartige Aktivitäten befinden sich in der gleichen Zeile, um eine einfache und

übersichtliche Struktur zu erhalten und die Verfolgung einer Aktivität über mehrere Iterationen zu erleichtern. Die Überlappung der Kästchen symbolisiert das Ineinandergreifen bzw. die zeitliche und personelle Überschneidung der einzelnen Aktivitäten. Begonnen wird mit der Zahl 1. Eine Ausnahme bilden vorhandene Daten oder HMI, die mit 0 bezeichnet werden, um so zu zeigen, dass sie nicht Ergebnis des Projektteams sind, sondern die Ausgangssituationen repräsentieren. Alle Elemente werden angezeigt, unabhängig davon, ob sie tatsächlich im Projektverlauf durchgeführt wurden oder nicht. Nicht durchgeführte bzw. übersprungene Aktivitäten werden zur besseren Unterscheidung ausgegraut. Der Verlauf eines Projekts bzw. der Schritt von einer Iterationsschleife zur nächsten wird mit einer Verbindungslinie angezeigt, welche entsprechend dem tatsächlichen Projektverlauf bei jeder beliebigen Aktivität starten und enden kann.

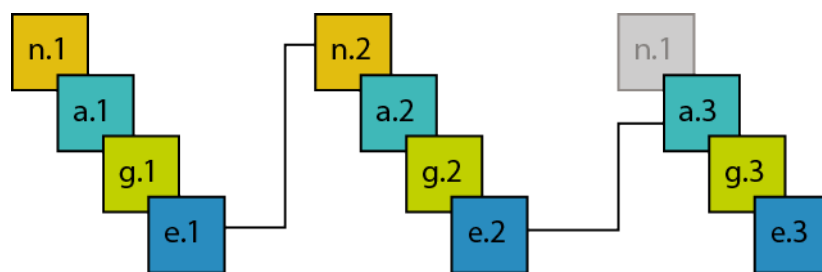


Abbildung 42: Vorgehensmodell - Basiskomponenten

Aktivitäten können ausgelassen werden, z. B. wenn eine Bearbeitung nicht möglich oder das Ziel der Aktivität erreicht ist. Jedoch sollte die Entscheidung über das Auslassen einer Aktivität bewusst und basierend auf den Ergebnissen der vorherigen Aktivitäten getroffen werden. Keinesfalls kann davon ausgegangen werden, dass beispielsweise der Nutzungskontext über den Projektverlauf gleich bleibt, da bei der intensiven Zusammenarbeit mit Nutzern, der Beschäftigung mit Anforderungen und Bedingungen des Arbeitssystems sowie dem Entwickeln und Erproben von Gestaltungsentwürfen neue Erkenntnisse auch über die Einsatzbedingungen sowie die Eigenschaften, Fähigkeiten und Interessen der Anwender gewonnen werden. Auch eine Erweiterung oder Eingrenzung der angestrebten Nutzergruppe oder der Nutzungsvoraussetzungen muss bedacht werden.

Das Zurückgehen zu einer vorherigen Aktivität ist ebenfalls möglich. Innerhalb einer Iterationsschleife überlappen sich die einzelnen Aktivitäten ohnehin, da am Ende einer Aktivität eine Vorausschau auf die nächste Aktivität und eine Abschätzung stattfindet, ob sie zum jetzigen Projektstand möglich ist. Der Schritt von der Evaluation in einer Iterationsschleife zur Nutzungskontextanalyse in der nächsten (z. B. von e.1 zu n.2) ist größer, da die Evaluation auch ein Fazit zum bisherigen Vorgehen in dieser Schleife und die Entscheidung enthält, ob eine erneute Iteration sinnvoll ist. Auch hier ist die Verbindung aber bewusst nicht als Pfeil, sondern bidirektional umgesetzt, d. h. auch ein Zurückgehen zur Evaluation ist möglich.

5.1.2 Unteraktivitäten

Eine Aufgliederung in Unteraktivitäten ermöglicht eine präzisere Beschreibung des Vorgehens innerhalb einer Aktivität. Diese Unteraktivitäten werden durch rechteckige Elemente dargestellt, welche einzelne Bereiche, Aspekte, Tätigkeiten oder Kriterien der Aktivität repräsentieren (Abbildung 43). Die Nummerierung erfolgt durch eine angehängte Zahl, d. h. beispielsweise a.1.4 für die vierte Anforderung, welche bei der ersten Anforderungsdefinition bestimmt wurde, oder e.3.1 für eine einzelne Datenerhebung, welche bei der dritten Evaluation im Projekt durchgeführt wurde.

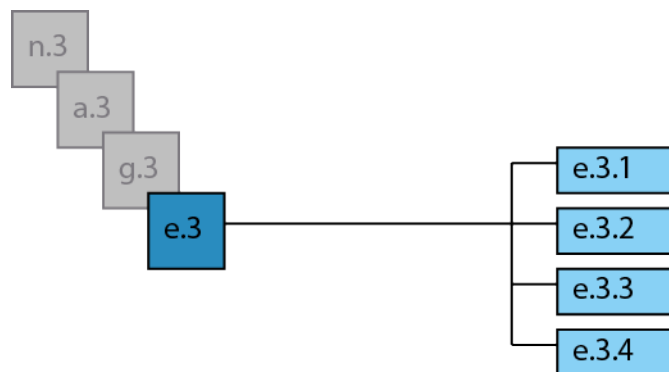


Abbildung 43: Vorgehensmodell - Unteraktivitäten

Unteraktivitäten können schon zu Beginn vorhanden bzw. fest eingeplant sein, während des Projektverlaufs hinzukommen oder wegfallen. Sie ermöglichen durch Zuordnung einzelner Komponenten oder Gestaltungsentwürfe eine systematische Beschreibung des Zustands und der Veränderungen. Unteraktivitäten der Nutzungskontextanalyse sind z. B. unterschiedliche Nutzergruppen oder Arten von Umgebungsbedingungen. Die Analyse von Anforderungen kann u. a. untergliedert werden nach den Quellen der Anforderungen (betriebliche Dokumente, allgemeine Regeln zur Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen), nach einzelnen Elementen des HMI (Soft- und Hardware, Eingabegeräte, Ausgaben, ...), der Priorität oder zeitlichen Erfordernissen (im ersten Schritt umzusetzen, im zweiten Schritt, ...). Als Unteraktivitäten der Gestaltungsphase eignen sich naturgemäß die einzelnen Komponenten des HMI, d. h. Ein- und Ausgabe mit ggf. weiterer Untergliederung (Grundbildschirm, einzelne Gestaltungselemente oder Zustände) oder Gestaltungsvarianten. Eine gleichartige Gliederung der Unteraktivitäten bei der Anforderungsdefinitions- und der Gestaltungsphase ermöglicht einen Bezug von Anforderungen und ihrer Umsetzung im Design. Gleiches gilt für die Unteraktivitäten der Evaluationsphase, wenngleich sich hier auch eine Aufteilung nach den eingesetzten Methoden (Befragungen, Workshops, Simulationen) aus organisatorischen Gründen anbietet. Für alle Unteraktivitäten gilt, dass im Team eine geeignete Aufgliederung gefunden werden muss, welche den organisatorischen Bedingungen, inhaltlichen Besonderheiten und Arbeitsweisen der Teammitglieder am besten entspricht und sich somit je nach Projekt unterscheiden kann.

5.1.3 Beziehungen

Die Analyse der drei Fallstudien zeigte, dass die Beschreibung der einzelnen Phasen sowie ihrer Komponenten auf sprachlicher Ebene schwierig ist. Eine einfache sprachliche und grafische Beschreibung der vorhandenen Daten führt schnell dazu, dass die Daten unstrukturiert und unübersichtlich werden und die im Projekt erworbenen Erfahrungen und getroffenen Entscheidungen sowie ihre Auswirkungen auf die Designentwicklung nur schwer nachvollziehbar sind.

Es ist daher notwendig, die Daten zu strukturieren und grafisch übersichtlich aufzubereiten. Dazu werden im Folgenden die Beziehungen zwischen einzelnen Komponenten grafisch dargestellt (Abbildung 44). Eine Weiterentwicklung bzw. Folge von Aktivitäten wird durch eine durchgehende Linie bezeichnet, das unveränderte Beibehalten der Erkenntnisse bzw. Designversionen mit einer gebrochenen Linie. Wird die Entwicklung unterbrochen, kann dies entweder die Erreichung des gesetzten Ziels (senkrechter Balken) oder das Aufgeben dieser Unteraktivität bedeuten (Kreis). Weitere Codierungen sind ebenso denkbar wie Querverbindungen zwischen Unteraktivitäten, die zusammengeführt oder weiter unterteilt werden bzw. auf andere Weise in Zusammenhang stehen.

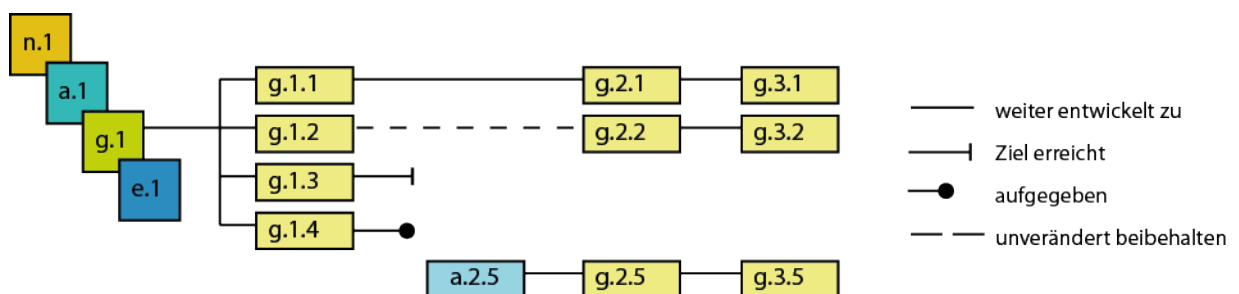


Abbildung 44: Vorgehensmodell - Beziehungen zwischen Elementen bzw. Unter-elementen

Bei Anwendung dieses Prinzips auf die Unter-elemente können das Ergebnis jeder Phase sowie der Übergang zur nächsten Phase dokumentiert und visualisiert werden. Es wird deutlich, welche Bereiche noch weiter bearbeitet werden müssen und welche abgeschlossen sind. Die Hervorhebung der finalen Gestaltungsversion wird erreicht, indem am Ende alle beteiligten Elemente in einer abgesetzten Spalte aufgelistet werden. Dies kann bedeuten, dass Elemente aus unterschiedlichen Iterationsschritten gemeinsam dargestellt werden (Abbildung 45). So kann ein Display beispielsweise als eine Gruppe von Gestaltungselementen gesehen werden, bestehend aus einem Hintergrund, Menüfeldern, Flugzeug-Labels und Kontextmenü. Während das Aussehen des Bildschirmhintergrunds möglicherweise schon zu Beginn festgelegt und danach nicht mehr verändert wird (g.1), erfährt das Kontextmenü in jeder Iteration eine weitere Anpassung, bis der gesamte Gestaltungsprozess abgeschlossen ist (g.3.1), die Menüfelder kommen erst in der ersten

Iteration hinzu (g.3.3) und werden dann weiterentwickelt. Somit setzt sich die finale Version des HMI aus Elementen zusammen, die im Verlauf des Entwicklungsprozesses unterschiedlich oft iteriert wurden. Die Darstellung des Entwicklungsverlaufs mit Hervorhebung der finalen Versionen zeigt auf diese Weise auf übersichtliche Weise die Zusammensetzung des HMI und das Zustandekommen der Gestaltungslösung inklusive getroffener Entscheidungen über Weiterentwicklung oder Wegfallen einzelner Komponenten. Gleichzeitig wird so eine Versionierung auf Komponentenebene erreicht.

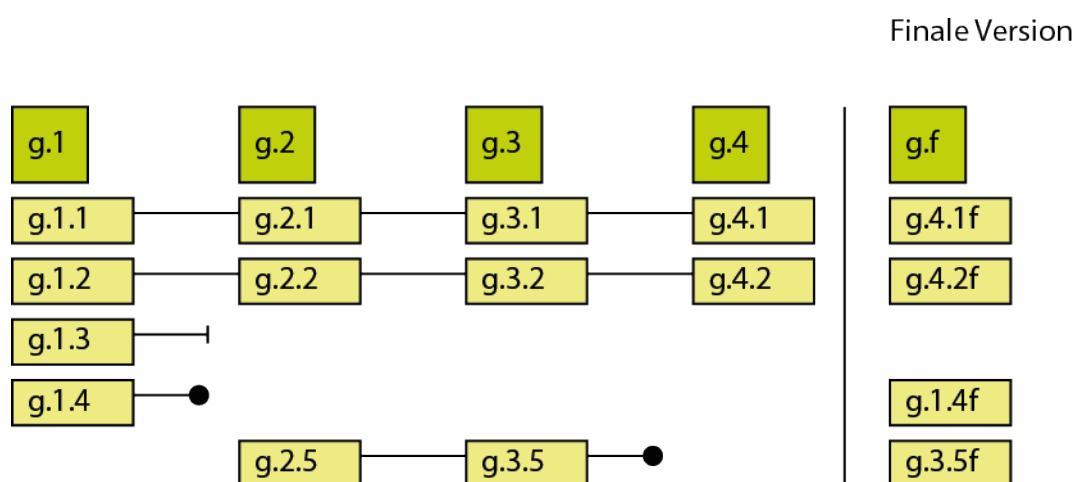


Abbildung 45: Vorgehensmodell - Hervorhebung der finalen Version

5.1.4 Kombinierte Darstellung

Eine Kombination der Elemente, Unterelemente und Beziehungs-Komponenten führt zu einer komplexen Darstellung des gesamten Vorgehens im Projekt. Eine solche Darstellung ermöglicht beispielsweise das Nachvollziehen von Designentscheidungen über den Projektverlauf, Systematisierung und Management von Versionen und Konfigurationen des HMI, den gegenseitigen Bezug von Anforderungen, Gestaltungslösungen und Evaluationsergebnissen und eine leichtere Organisation des Zusammenarbeitens im Projektteam. Denkbar wäre z. B. das Verwenden der kombinierten Darstellung, um Beziehungen zwischen Unterelementen aus verschiedenen Phasen zu visualisieren, wie beispielsweise den Zusammenhang von Evaluationsergebnissen aus der ersten Iteration und Anforderungen in der zweiten Iteration.

Eine zweidimensionale Visualisierung der kombinierten Darstellung ist jedoch wenig übersichtlich. Durch Nutzung der dritten Dimension können hingegen sowohl die Iterationen der Aktivitäten sowie die Aufgliederung in Unteraktivitäten gemeinsam abgebildet werden. Abbildung 46 zeigt das Prinzip. Die vier Aktivitäten jeder Schleife befinden sich auf einer Ebene, mit Abschluss der

Evaluation erfolgt der Übergang auf eine neue Ebene. Die Unteraktivitäten werden im äußeren Bereich angeordnet, die Hauptaktivitäten innen. Diese Darstellung erlaubt sowohl die Betrachtung jeder Ebene für sich als auch das Verfolgen einer Aktivität über mehrere Ebenen hinweg. Um eine Verwendung in Projekten zu erleichtern, ist eine Umsetzung als interaktives Werkzeug bzw. Software empfehlenswert, welche vergleichbar mit einer Projektmanagement-Anwendung die Projektstruktur abbildet und die Einordnung einzelner Ergebnisse und Dokumente ermöglicht.

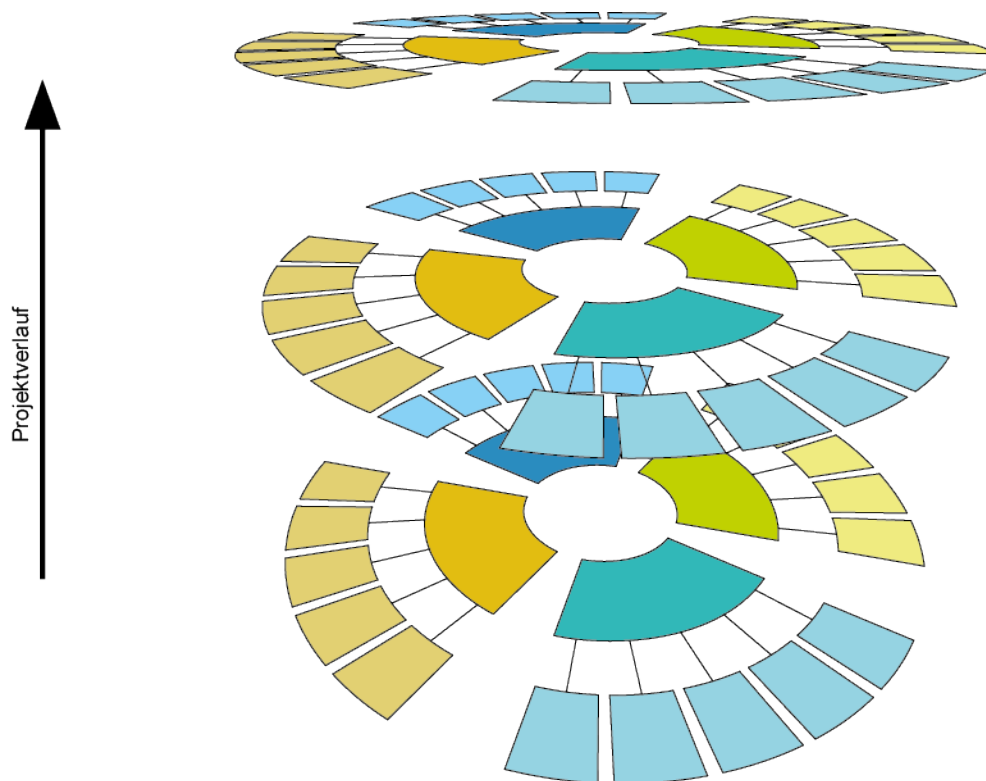


Abbildung 46: Vorgehensmodell - Kombinierte Darstellung

5.2 Entwicklungsdimensionen

Bis dahin bildet das Modell mehrere Verläufe ab: Vier Phasen folgen aufeinander, dies wiederholt sich mehrmals, so dass jede Aktivität mehrfach durchgeführt wird und das Vorgehensmodell natürlicherweise eine zeitliche Perspektive enthält. Das dokumentierte Wissen über den Nutzungskontext wird zunehmend erweitert und vertieft, die Nutzungsanforderungen werden ergänzt und detailliert, die Gestaltungslösung wird immer weiter entwickelt, bis die Evaluation die Erfüllung aller gestellten Anforderungen bestätigt. Im Verlauf einer Entwicklung verändern sich jedoch noch weitere Aspekte, sowohl innerhalb des Projektteams als auch beim Produkt.

Team-Perspektive

Das Entwicklungsteam erweitert und vertieft sein gemeinsames Wissen über den Nutzungskontext, das Verständnis des Anwenders und die Anpassungsmöglichkeiten des HMI an die vorliegenden Gegebenheiten. Dabei erwirbt das Team Erfahrungen in den einzelnen Aktivitäten und lernt, welche Methoden sich eignen, welche effizient eingesetzt werden können und welche Gestaltungslösungen zu welchen Evaluationsergebnissen führen. Dieses Wissen kommt nicht nur dem aktuellen Projekt zugute, sondern auch zukünftigen Projekten, indem es eine schnellere Bearbeitung der einzelnen Phasen ermöglicht. Das interdisziplinäre Entwicklungsteam erwirbt in der Zusammenarbeit mit Kollegen zudem Erfahrungen mit den beteiligten Disziplinen, insbesondere deren Perspektive, Vorgehen und Methoden sowie Stärke und Schwächen. Im Projektverlauf entwickelt das Team so ein gemeinsames Verständnis, ein gemeinsames Methodenrepertoire und ggf. auch eine gemeinsame Sprache. Jedes Projekt bietet damit Entwicklungsperspektiven für das gesamte Projektteam.

Produkt-Perspektive

Eine Weiterentwicklung der Gestaltungslösung muss nicht eine höhere Detaillierung oder Vergrößerung des Umfangs bedeuten. Zwar gibt es im Allgemeinen eine Entwicklung von einem ersten, einfachen Konzept bis hin zu einem funktionierenden Prototypen, allerdings kann Entwicklung auch Komplexitätsreduktion bzw. das Wegfallen von Gestaltungselementen und Funktionen mit sich bringen, wenn Ressourcen nicht ausreichen, Anforderungen sich ändern oder eine Reduktion inhaltlich begründet ist.

Bei der Aktivität der Evaluation ergeben sich ebenfalls Veränderungen. Zum einen erfolgt die Methodenauswahl und -anpassung abhängig vom Zustand des Gestaltungsentwurfs bzw. den Möglichkeiten des Prototypen (Hall, 2001; Säde, 1999). Dies wirkt sich auf die Aussagekraft der Ergebnisse aus: Während aufgrund einer Papier-Skizze des HMI nur schwer die Bedienbarkeit beurteilt werden kann, erlaubt eine Simulation mit einem voll funktionierenden Prototypen solidere bzw. belastbarere Urteile, und Variablen können detaillierter erhoben werden (Struckmeier, 2011; Hall, 2001). Detaillierung und Funktionstiefe bestimmen auch mit, welche Art von Usabilityproblemen bzw. Kritikpunkte Probanden finden werden (Struckmeier, 2011; McCurdy et al., 2006). Umgekehrt steigt der Anspruch an die Evaluation: Während in den ersten Projektschritten eine kurze Befragung von Nutzern ausreicht, muss mit zunehmendem Ausarbeitungsgrad auch der Realitätsgrad der Evaluation zunehmen, um die Erkenntnisse aus der Evaluation auf die zukünftige Nutzung in der Realität übertragen zu können (Luczak, 1975, Kaltenhäuser, 2003).

Bei diesen Entwicklungen handelt es sich um qualitative Veränderungen in mehreren Bereichen im Sinne einer Reifung von Team und Produkt, vergleichbar mit der Elaboration von Wissen, d. h. eine

tiefgehende und bedeutungshaltige Beschäftigung mit und Verarbeitung von Informationen (vgl. Ballstaedt, Mandl, Schnotz & Tergan, 1981). Wird dieses Prinzip auf die Darstellung des Vorgehensmodells übertragen, erhält dieses den Elaborationsgrad des HMI als dritte Dimension, welcher u. a. die Auswahl der Evaluationsmethoden beeinflusst. Anzustreben ist ein möglichst hoher Elaborationsgrad, welcher jedoch nicht eine einfache, klare Gestaltung ausschließt. Der Weg zu einer hohen Einfachheit (im Sinne einer Simplicity, vgl. Maeda, 2007) kann mitunter erst durch eine intensive Elaboration mit höher komplexen Zwischenergebnissen führen. Gleichzeitig wird der Gestaltungsentwurf präzisiert bis zum finalen Entwurf. Dabei nehmen Unwägbarkeiten mit zunehmendem Prozessverlauf ab und ungeeignete Lösungen werden verworfen, so dass sich die Menge möglicher Alternativen und der Gestaltungsspielraum nach und nach verringert. Diese gegenläufigen Prozesse zeigt Abbildung 47.

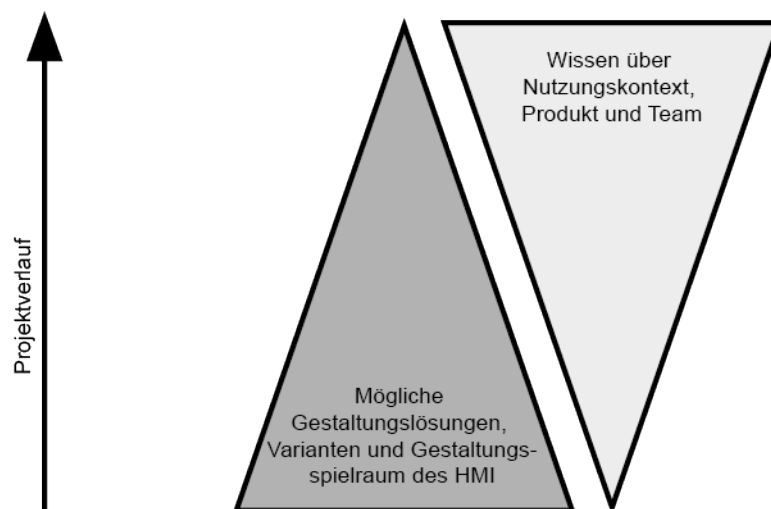


Abbildung 47: Vorgehensmodell - Entwicklungsdimension

Um die Elaboration zu optimieren und das im Elaborationsprozess erworbene Wissen zu erhalten, kann eine erweiterte Darstellung der einzelnen Schritte, Komponenten und Inhalte helfen (Abbildung 48). Zentrales Element dieses elaborativen Wendeltreppen-Modells ist ein säulenartiger Kern, an dem die einzelnen Aktivitäten vergleichbar den Stufen einer Wendeltreppe angeordnet sind. Die jeweiligen Unteraktivitäten sind außen fächerförmig angesetzt. Gleiche Aktivitäten liegen übereinander, so dass die Verfolgung der Unteraktivitäten über mehrere Iterationen hinweg möglich ist. Damit wird der Sprung von einer Ebene zur nächsten im bisherigen Modell ersetzt durch ein mehr oder weniger kontinuierliches Aufwärtsschreiten, welches die zunehmende Elaboration abbildet.

Dieses Modell visualisiert ebenfalls, dass man bei der Wiederaufnahme einer Aktivität meist nicht auf dem Niveau beginnt, auf dem man diese Aktivität zuletzt verlassen hat, sondern dass der Elaborationsgrad einer Aktivität sich auch während der Bearbeitung anderer Aktivitäten erhöhen kann. Dies kann beispielsweise durch Wissenserwerb in den anderen Aktivitäten, Problemlösung durch Inkubation (vgl. Kapitel 3.3.2) oder die persönliche Entwicklung der Projektteilnehmer geschehen.

Das elaborative Wendeltreppen-Modell bildet somit die Realität besser ab als ein Ebenen-Modell. Einerseits unterscheidet es deutlich zwischen den unterschiedlichen Aktivitäten und erlaubt für jede eine geeignete Darstellung und Umsetzung. Andererseits erinnert die Spindelform daran, dass implizit alle vier Aktivitäten parallel weiter bearbeitet werden können, und damit auch alle Aktivitäten gleichzeitig im Blick behalten werden sollten (Meta-Ebene). Damit ist das Modell eine sinnvolle mentale Repräsentation für das Projektteam.

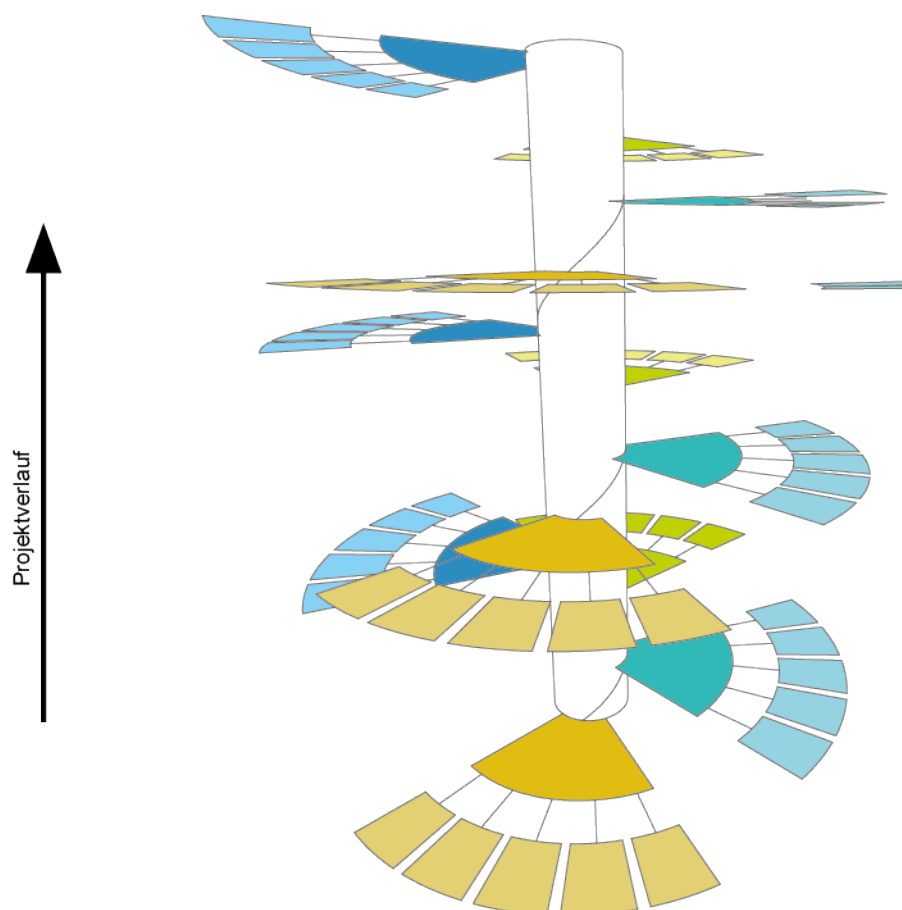


Abbildung 48: Elaboratives Wendeltreppen-Vorgehensmodell

5.3 Anwendungsmöglichkeiten des Vorgehensmodells

Die Anwendung dieses Vorgehensmodells ist auf mehrere Weise möglich:

Zum einen unterstützen die Strukturierung und Darstellung der einzelnen Prozesselemente die **Planung und Durchführung** eines menschenzentrierten Gestaltungsprozesses für HMI in der Flugsicherung. Es wird deutlich, welche Arbeitsschritte notwendig sind, welche Tätigkeiten durchgeführt werden müssen, welche inhaltlichen und zeitlichen Abhängigkeiten vorhanden und welche fachlichen Kompetenzen notwendig sind. Auf ähnliche Weise ist ein Rückblick auf das Projekt und eine Dokumentation der Vorgehensweise möglich. Die einzelnen Gestaltungscomponenten können beschrieben und ihre Entwicklung im Projektverlauf festgehalten werden. Anforderungen und ihre Erfüllung durch die Gestaltung werden nachvollziehbar dokumentiert, ein Versions- und Konfigurationsmanagement von Gestaltungsentwürfen sowie Wissen und Erfahrungen wird erleichtert.

Das Vorgehensmodell kann jedoch auch als **Steuerungsinstrument** während der Projektbearbeitung eingesetzt werden. Die Ergebnisse der einzelnen Phasen werden strukturiert und eingeordnet, bisherige Projektschritte und Entscheidungen können nachvollzogen werden und als Grundlage für die weitere Projektbearbeitung dienen. Gestaltungslösungen und Evaluationsinhalten können einzelnen Anforderungen zugeordnet werden; damit wird deutlich, welche Anforderungen noch nicht berücksichtigt wurden und noch aufgegriffen oder modifiziert werden müssen. Die Hinzunahme neuer Inhalte sowie das Wegfallen bisheriger Inhalte können dokumentiert werden. Insbesondere bei der Entwicklung von HMI für einen Arbeitskontext ist dies sinnvoll, da hier die Umsetzung von (teilweise bindenden) Anforderungen in Gestaltungslösungen eine wesentliche Voraussetzung für den Projekterfolg ist. Für Anwendungen in der Flugsicherung sind dies beispielsweise Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und Sicherheit. Würde eine solche Anforderung nicht berücksichtigt werden, wäre das HMI trotz einer hohen Gestaltungsqualität und positiven Bewertung durch den Anwender nicht akzeptabel. Ein weiterer Nutzen ist eine vereinfachte Kommunikation im Projektteam, mit Anwendern und Auftraggebern, da Gestaltungscomponenten und -versionen durch einheitliche Bezeichnungen klar benannt werden können.

6 Diskussion

Zur Analyse und Anwendung des menschenzentrierten Gestaltungsprozesses im Kontext Flugsicherung wurden zunächst unterschiedliche Modelle zur Entwicklung von HMI und ähnlichen Produkten sowie mögliche Kriterien zur Bewertung von HMI beschrieben. Das Vorgehen nach DIN EN ISO 9241-210 wurde für den Nutzungskontext Flugsicherung reflektiert und mögliche Inhalte, Ergebnisse und Probleme der einzelnen Aktivitäten zusammengetragen. Anschließend erfolgte eine exemplarische Anwendung des Vorgehens entsprechend DIN EN ISO 9241-210 in drei Fallstudien und eine Diskussion der Anwendbarkeit dieser Norm im Kontext Flugsicherung. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden in einem weiterentwickelten Modell zum Vorgehen und zur Dokumentation des Entwicklungsprozesses umgesetzt. Es stellt sich nun die Frage, welchen Nutzen diese Erkenntnisse für die Entwicklung von HMI in der Flugsicherung haben.

Generell lässt sich ein großer Vorteil für ein Vorgehen mit Partizipation der Anwender, Iteration und interdisziplinärem Projektteam feststellen, da sich auf diese Weise Arbeitssysteme umfassend analysieren und Gestaltungslösungen sowie Prototypen entwickeln lassen, welche die Anforderungen der Beteiligten erfüllen. Es zeigt sich jedoch auch, dass vielfältige Perspektiven und eine Vielzahl von Informationen eine Rolle spielen können. Häufig fällt es schwer zu entscheiden, welche Quellen relevant und aktuell sind und welche vernachlässigt werden können. Die Partizipation der zukünftigen Anwender kann einerseits die Menge an Anforderungen und Daten erhöhen, andererseits dabei helfen, die geeigneten Quellen zur Beschreibung von Nutzungskontext und Anforderungen zu identifizieren und betrieblich relevante Kriterien zur Bewertung der HMI zu bestimmen. Ein menschenzentrierter Gestaltungsprozess bedeutet somit nicht, dass lediglich einzelne Nutzer zu ihren Bedürfnissen oder ihrer Meinung zu einem HMI gefragt werden, sondern eine umfassende Betrachtung des gesamten Arbeitssystems und die Berücksichtigung der komplexen Zusammenhänge zwischen einzelnen Elementen. Jede getroffene Entscheidung wirkt sich auf zukünftige Projektaktivitäten aus, indem sie Möglichkeiten eröffnet oder einschränkt. Auf gleiche Weise wirken sich Veränderungen in den HMI auf Arbeitsprozesse und Strukturen aus. Der menschenzentrierte Gestaltungsprozess der DIN EN ISO 9241-210 ist damit als Rahmen für vielfältige Aktivitäten, Methoden, Ziele und Perspektiven zu betrachten, die abhängig von Nutzungskontext und Projektziel ausgewählt und umgesetzt werden.

Die Anwendung des Vorgehens nach DIN EN ISO 9241-210 in konkreten Projekten, wie in Kapitel 4 beschrieben, zeigt, dass die Strukturierung entsprechend der Aktivitäten die Übersichtlichkeit und

Nachvollziehbarkeit des Entwicklungsprozesses verbessern kann. Insbesondere bei der Projektdokumentation bzw. dem Verfassen von Berichten und Präsentationen ist beispielsweise eine systematische und detaillierte Darstellung der Gestaltungslösungen sehr hilfreich. Allerdings stellt sich die Frage, wie die Übersichtlichkeit erhalten werden kann, wenn alle Aktivitäten in hoher Detaillierung dargestellt bzw. sämtliche Beziehungen zwischen Unteraktivitäten dokumentiert werden.

Das in Kapitel 5 beschriebene elaborative Wendeltreppen-Vorgehensmodell wurde auf der Basis von Erfahrungen in Projekten entwickelt, welche die Gestaltung von HMI für Tower-Lotsen zum Ziel hatten. Die Befürchtung, dass durch ein solches Modell nur versucht wird, vorhandene Entwicklungsverläufe in ein Schema zu bringen, wohingegen im realen Verlauf die einzelnen Aktivitäten miteinander vermischt werden bzw. dass der Aufwand einer solchen Planung und Dokumentation den Nutzen übersteigt, kann durch die Erfahrungen aus diesen Projekten entkräftet werden. Das beschriebene Vorgehensmodell will bewusst nicht ein Projekt von Anfang bis Ende planen, sondern den Verlauf eines Projekts begleiten und dokumentieren. Die initiale Planungsphase kann dadurch verkürzt werden, indem sie lediglich eine Grobplanung für das gesamte Projekt und eine Feinplanung für die ersten Aktivitäten beinhaltet und Anpassungen der Planung im Entwicklungsprozess vorsieht. Das Vorgehensmodell soll interdisziplinäre Projektteams dabei unterstützen, die relevanten Aktivitäten zielgerichtet durchzuführen und zu reflektieren, die zukünftigen Anwender zu berücksichtigen und den Projektverlauf zu dokumentieren. Anforderungen und Designentscheidungen sollen nachvollziehbar beschrieben werden, um die Transparenz im Team zu erhöhen, unnötige Iterationen zu vermeiden und Entscheidungen begründen.

Der Projektleiter erhält ein Steuerungsinstrument, welches ihm einen Überblick über den bisherigen Projektverlauf und mögliche zukünftige Schritte bietet und die Kommunikation innerhalb des Teams sowie nach außen erleichtert. Insbesondere bei größeren Projektteams und einer großen Anzahl von Gestaltungsvarianten und Versionen kann dies dabei helfen, alle Anforderungen zu berücksichtigen. Zielführende Gestaltungsentwürfe werden ebenso dokumentiert wie verworfene Konzepte, welche neu bewertet bzw. wieder aufgegriffen werden können, wenn sich wesentliche Bedingungen verändern (z. B. technische Machbarkeit, Regularien, Priorisierung von Anforderungen oder Interessen des Auftraggebers). Das Modell bietet ein flexibles Gerüst, in das Ideen und Ergebnisse eines dynamischen, kreativen Gestaltungsprozesses eingeordnet werden können, unabhängig davon, zu welchem Zeitpunkt und unter welchen Bedingungen sie entstehen (z. B. Ideen für Gestaltungslösungen beim Festlegen der Nutzungsanforderungen). Dies kommt somit nicht nur dem aktuellen Projekt zugute, sondern auch zukünftigen Projekten und Projektteams.

7 Ausblick

Die Anwendung des menschenzentrierten Vorgehens wurde anhand mehrerer Fallstudien beschrieben und daraufhin ein konkretisiertes Vorgehensmodell abgeleitet.

Zukünftigen Studien bleibt nun eine Validierung des Modells, um seine Eignung den Arbeitskontext im Allgemeinen bzw. für den Kontext Flugsicherung im Speziellen zu belegen. Hierbei sind unter anderem Projektumfang und -dauer, Nutzungskontext und zu entwickelndes Produkt sowie die Zusammensetzung und Erfahrung des Projektteams zu variieren. Zu klären wären beispielsweise geeignete Strukturierung und Dokumentationsweisen der Aktivitäten sowie Möglichkeiten des Bezugs von Anforderungen, Gestaltungslösungen und Evaluationsergebnissen, um eine optimale Unterstützung des Projektteams zu erhalten.

Desweiteren wäre eine präzisere Bestimmung der für komplexe Systeme und insbesondere für die Flugsicherung relevanten Usabilitykriterien und weiteren Bewertungskriterien sinnvoll. Hierbei geht es nicht nur um die Auswahl und Operationalisierung von Kriterien oder die Auswahl geeigneter Methoden, sondern auch um die Entwicklung dieser Kriterien über den Projektverlauf hinweg. Es ist anzunehmen, dass sowohl die Ausprägung einzelner Kriterien als auch ihre Aussagekraft sich im Verlauf verändern und sich die Kriterien je nach Projektstand unterschiedlich gut eignen, um die Qualität eines HMI zu bestimmen. Auch sind zu Projektbeginn möglicherweise nur wenige Kriterien vorhanden, welche dann nach und nach ergänzt und präzisiert werden. Das Bestimmen und Verfolgen einzelner Kriterien in einem Längsschnitt wäre daher ein geeignetes Mittel, um ihre Entwicklung zu beobachten und HMI effizienter bewerten zu können. Eine Darstellung der Bewertungskriterien in Form eines Netzdiagramms könnte eine geeignete Möglichkeit sein, um die Ausprägung bzw. den Erfüllungsgrad oder die aktuelle Relevanz der einzelnen Kriterien zu jedem Projektzeitpunkt festzuhalten.

Ein weiteres zukünftiges Forschungsthema liegt in der Beschreibung und Darstellung von dynamischen Inhalten bei HMI, da diese nur schwer mit den hier verwendeten Mitteln dokumentiert werden können. Dies kann insbesondere bei adaptiven HMI problematisch sein, da hier die Veränderung der Gestaltung nicht nur innerhalb einer Aktivität, in einem begrenzten Zeitraum und angeregt durch die Anforderungen an das HMI geschieht, sondern kontinuierlich durch das Nutzungsverhalten des Anwenders und ohne dokumentierte Veränderungen der Anforderungen.

Prinzipiell wäre die Umsetzung des Modells in ein interaktives Software-Tool sinnvoll, welches den Projektverlauf übersichtlich darstellt und eine Einordnung der Inhalte ermöglicht. Um die Verwendung der Software durch räumlich verteilt arbeitenden Projektteams zu erlauben, ist hier eine webbasierte Lösung zu bevorzugen. Eine solche Umsetzung ermöglicht zusätzlich die Dokumentation, Aufbereitung und Bereitstellung von relevantem Wissen zu Nutzungskontext und Gestaltungsprozess im Sinne eines Wissensmanagements, so dass zukünftige Projektteams profitieren und ihre eigene Elaboration fördern können.

8 Literatur

8.1 Veröffentlichte Literatur

- Ahlstrom, U. & Arend, L. (2005). Color usability on air traffic control displays. In HFES (Hrsg.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 49th Annual Meeting* (S. 93-97). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Altschuller, G. S. (1998). *ERFINDEN - Wege zur Lösung technischer Probleme*. Berlin: Technik Verlag.
- Anderson, J. R. & Funke, J. (2007). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Arnvig, M., Beermann, B., Köper, B., Maziul, M., Mellett, U., Niesing, C. & Vogt, J. (2006). *Managing shiftwork in European ATM: Literature Review*. DAP/SAF-2006/55. Brüssel: Eurocontrol.
- Bachmann, P. (2005). *Flugsicherung in Deutschland*. Stuttgart: Motorbuch-Verlag.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford psychology series. Oxford: Clarendon Press.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19, 775-779. Zugriff am 17.5.2012. Verfügbar unter <http://www.bainbrdg.demon.co.uk/Papers/Ironies.html>.
- Ballstaedt, S.-P., Mandl, H., Schnotz, W. & Tergan, S.-O. (1981). *Texte verstehen, Texte gestalten*. München: Urban & Schwarzenberg.
- Basili, V. R. & Turner, A. J. (1975). Iterative enhancement: A practical technique for software development. *IEEE Transactions on software engineering*, se-1 (4).
- Bauschat, J. (2008). *Vive La Difference? Relevanz des Niveaus der Pilotenbeanspruchung beim Vergleich Echtzeitflugsimulation und realer Flug*. Vortrag auf der 50. Fachausschusssitzung Anthropotechnik: Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration. 22.-23. Oktober 2008, Manching.
- Beckhaus, S., Brugger, S. L. & Wolter, K. (2010). Die Artefaktkarte. In J. Ziegler & A. Schmidt (Hrsg.), *Mensch & Computer 2010* (S. 341-350). München: Oldenbourg.
- Benel, R. A. & Benel, D. C. R. (1998). A Systems View of Air Traffic Control. In M. W. Smolensky & E. S. Stein (Hrsg.), *Human Factors in Air Traffic Control* (S. 17-63). San Diego: Academic Press.

- Benington, H. D. (1987). Production of large computer programs. In IEEE Computer Society (Hrsg.), *ICSE '87: Proceedings of the 9th international conference on Software Engineering* (S. 299-310). New York: IEEE Computer Society Press.
- Bergner, J., König, C., Ebert, H. & Hofmann, T. (2008). Entwurf einer integrierten Planungsanzeige für den Tower-Controller. *Tagungsband Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2008* [CD-ROM]. Darmstadt: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt – Lilienthal-Oberth e. V.
- Berndtsson, J. & Normark, M. (1999). The coordinative functions of flight strips: Air traffic control work revisited. In ACM (Hrsg.), *Proceedings of the international ACM SIGGROUP conference on Supporting group work* (S. 101 – 110). New York: ACM.
- Bierwagen, T. (1999). *Kognitive Prozesse von Fluglotsen bei der Konflikterkennung: Modellierung und Implementierung*. Sinzheim: Pro Universitate.
- Bierwagen, T. (2007). Strategische Forschungsaktivitäten der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH im Lichte des Single European Sky Air Traffic Management Research Programms (SESAR). In M. Rötting, G. Wozny, A. Klostermann & J. Huss (Hrsg.), *Prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion. 7. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. Berlin 10. bis 12. Oktober 2007*. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 22 Nr. 25 (S. 315–318). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Blom, H. A. P., Stroeve, S. H., Everdij, M. H. C. & van der Park, M. N. J. (2003). *Human cognition performance model to evaluate safe spacing in air traffic*. NLR-TP-2002-690. Amsterdam: National Aerospace Laboratory NLR.
- Blutner, D., Cramer, S. & Haertel, T. (2009). Der Mensch als Planer, Operateur und Problemlöser in logistischen Systemen. In P. Buchholz & U. Clausen (Hrsg.), *Große Netze der Logistik* (S. 211–239). Berlin: Springer.
- Boehm, B. W. (1986). *Wirtschaftliche Software-Produktion*. Wiesbaden: Forkel.
- Boehm, B. W. (1988). A spiral model of software development and enhancement. *IEEE Computer*, 21 (5), 61–72.
- Bokranz, R. & Landau, K. (1991). *Einführung in die Arbeitswissenschaft: Analyse und Gestaltung von Arbeitssystemen*. Stuttgart: Ulmer.
- Booz-Allen-Hamilton (2006). *Tower modular design analysis*. Untersuchung im Auftrag des U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, ATO-P, Human Factors Research and Engineering. Atlantic City, NJ: U.S. Department of Transportation.

- Bortz, J. & Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation: für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Broadbent, S. (2000). *Technical Annex: An experimental methodology for selecting fonts for next generation air traffic management systems*. HRS/HSP-006-REP-02. Brüssel: Eurocontrol.
- Brödner, P., Hamburg, I. & Kirli, P. (1997). Leitlinien zur Einführung neuer technischer Verfahren im Betrieb. In Institut Arbeit und Technik (Hrsg.), *Jahrbuch 1996/1997* (S. 192–193). Gelsenkirchen: Institut Arbeit und Technik.
- Brown, T. (2008). *Design Thinking*. Harvard Business Review, 86 (6), 84.
- Bruder, C., Eißfeldt, H., Hörmann, J., Jörn, L., Stern, C., Teegen, U. & Zierke, O. (2009). *Aviator 2030 - Fähigkeitsrelevante Aspekte zukünftiger ATM-Systeme aus Sicht beruflicher Experten. Teil 1: Konzeptentwicklung* (Berichtsreihe No. 2009-02). Köln: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin.
- Bruder, R. (2011). Ergonomische Qualität im Design (EQUID) – ein prozessorientierter Gestaltungsansatz. In GfA (Hrsg.), *Mensch, Technik, Organisation - Vernetzung im Produktentstehungs- und -herstellungsprozess*, 57. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 23. - 25. März 2011, Chemnitz.
- Bruder, R. & Leonhardt, J. (2010). Der DFS Design Process Guide zur Gestaltung von Arbeitsplätzen in der Flugsicherung. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), *Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten. Tagungsband des 56. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft* (S. 227–230). Dortmund: GfA-Press.
- Brunner, A. (2008). *Kreativer denken : Konzepte und Methoden von A – Z*. München: Oldenbourg.
- Buchanan, R. (1995). Wicked Problems in Design Thinking. In R. Buchanan & V. Margolin (Hrsg.), *The Idea of Design* (S. 3–20). Cambridge, MA: MIT Press.
- Bunse, C. & Knethe, A. (2002). *Vorgehensmodelle kompakt*. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.
- Burmester, M. (2007). Usability und Design. In R. Schmitz (Hrsg.), *Kompendium Medieninformatik* (S. 245-302). Berlin: Springer.
- Burmester, M. (2008). Usability-Engineering. In W. Weber (Hrsg.), *Kompendium Informations-design* (S. 321-358). Berlin: Springer.
- Burmester, M. & Görner, C. (2003). Das Wesen benutzerzentrierten Gestaltens. In J. Machate & M. Burmester (Hrsg.), *User Interface Tuning. Benutzerschnittstellen menschlich gestalten*. Frankfurt: Software & Support-Verlag.

- Buß, B. (2005). *Sicherheit und das 'Alarmproblem' in der Intensivmedizin: Entwurf eines systemsensitiven Alarmmanagements (SEAM)*. Dissertation. Technische Universität Berlin, Fakultät Verkehrs- und Maschinensysteme.
- Cardosi, K. & Yost, A. (2001). *Controller and pilot error in airport operations: A review of previous research and analysis of safety data*. DOT/FAA/AR-00/51. Cambridge, MA: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Research and Special Programs Administration.
- Cardosi, K. M. & Murphy, E. D. (1995). *Human Factors Checklist for the Design and Evaluation of Air Traffic Control Systems*. DOT/FAA/RD-95/3.1. Cambridge, MA: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Research and Special Programs Administration.
- Carroll, J. M., Mack, R. L. & Kellogg, W. A. (1988). Interface Metaphors and User Interface Design. In M. Helander (Hrsg.), *Handbook of Human-Computer-Interaction* (S. 67-85). Amsterdam: Elsevier.
- Chapanis, A. & Richardson, S. (1991). The business case for human factors in informatics. *Human Factors for Informatics Usability*. Cambridge: University Press.
- Conrad, K.-J. (2010). *Grundlagen der Konstruktionslehre - Methoden und Beispiele für den Maschinenbau*. München: Hanser.
- Cooper, G. E. & Harper, R. P. (1969). *The use of pilot rating in the evaluation of aircraft handling qualities* (No. 567). Neuilly-sur-Seine: North Atlantic Treaty Organization, Advisory Group for Aerospace Research & Development.
- Cox, B. J. & Novobilski, A. J. (1991). *Object-Oriented Programming; An Evolutionary Approach*. Addison-Wesley.
- Cross, N. (2006). *Designerly Ways of Knowing*. London: Springer.
- Crutchfield, J. P. & Young, K. (1989). Inferring statistical complexity. *Physical Review Letters*, 63 (2), 105-108.
- Csikszentmihalyi, M. (1997). *Kreativität*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Cushman, W. H. & Rosenberg, D. J. (1991). *Human factors in product design*. Amsterdam: Elsevier.
- Cyr, D., Kindra, G. S. & Dash, S. (2008). Web site design, trust, satisfaction and e-loyalty: the Indian experience. *Online Information Review*, 32, 773-790.
- Daenzer, W. F. & Huber, F. (2002). *Systems Engineering*. Zürich: Verlag Industrielle Organisation.
- Dahm, M. (2006). *Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion*. München: Pearson Studium.

- Damodaran, L. (1996). User involvement in the systems designs process – a practical guide for users. *Behaviour & Information Technology*, 15 (6), 363–377.
- Dekker, S. W. A. (2006). *Past the edge of chaos*. Technical Report No. 2006-03. Lund: University, School of Aviation.
- Delahaye, D. & Puechmorel, S. (2000). *Air Traffic Complexity: Towards Intrinsic Metrics*. Paper auf der 3rd USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Napoli, Italien.
- Design School Stanford. (2011). *Use our Methods*. Zugriff am 28.9.2012. Abgerufen von <http://dschool.stanford.edu/use-our-methods>.
- Dethloff, C. (2004). *Akzeptanz und Nicht-Akzeptanz von technischen Produktinnovationen*. Dissertation. Universität zu Köln, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät.
- Deutscher Wetterdienst (2007). *Durchführung meteorologischer Dienste an Verkehrsflughäfen und Verkehrslandeplätzen für Regionalluftverkehre mit Flugplatzkontrolldienst sowie an unkontrollierten Flugplätzen mit Luftraum "F"*. Offenbach am Main: Deutscher Wetterdienst.
- DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (2010). *TOSIM – State-of-the-art tower simulator*. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH.
- DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (2011). *Berufsausbildung in der DFS. Info für die Berufsinformationszentren der Agentur für Arbeit*. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH.
- DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (2012). *Luftverkehr in Deutschland. Mobilitätsbericht 2011*. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH.
- DiSalvo, C., Sengers, P. & Brynjarsdóttir, H. (2010). Mapping the landscape of sustainable HCI. In E. Mynatt, G. Fitzpatrick, S. Hudson, K. Edwards & T. Rodden (Hrsg.), *Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems* (S. 1975–1984). New York: ACM.

- Dittmann, A., Kallus, W. & Van Damme, D. (2000). *Integrated Task and Job Analysis of Air Traffic Controllers - Phase 3: Baseline Reference of Air Traffic Controller Tasks and Cognitive Processes in the ECAC Area*. Brüssel: Eurocontrol.
- Dobberkau, K. (2002). *Aufgabenorientierte Methoden Anpassung in der Produktentwicklung am Beispiel des Qualitätsmanagements*. Dissertation. Technische Universität Kaiserslautern.
- Dörner, D. (2003). *Die Logik des Mißlingens: Strategisches Denken in komplexen Situationen*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Dörner, D., Kreuzig, H. W., Reither, F. & Stäudel, T. (1994). *Lohhausen – Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Bern: Hans Huber.
- Druin, A. (2002). The role of children in the design of new technology. *Behaviour and Information Technology*, 21 (1), 1-25.
- Dubuisson, S. & Eriksen, P. (2006). *Integrated Tower Working Position – Initial study report*. Brétigny-sur-Orge: Eurocontrol.
- Dubuisson, S. & Eriksen, P. (2007). *Integrated Tower Working Position – Evaluation Report Session 2*. Brétigny-sur-Orge: Eurocontrol.
- Dubuisson, S., Lane, R. & Eriksen, P. (2009). *Integrated Tower Working Position – ITWP functional requirements*. Brétigny-sur-Orge: Eurocontrol.
- Dunckel, H. (1999). *Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren*. Zürich: Vdf Hochschulverlag an der ETH.
- Durso, F. T., Johnson, B. R. & Crutchfield, J. M. (2010). Dimensions of Air Traffic Control Tower Information Needs: From Information Requests to Display Design. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 16 (3), 219-237.
- Dutke, S. (1994). *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens. Kognitionspsychologische Grundlagen für die Software-Ergonomie*. Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie.
- Dzida, W., Wiethoff, M. & Arnold, A. G. (1993). *ERGOGuide. The Quality Assurance Guide to Ergonomic Software*. Delft: University of Technology.
- Eason, K. D. (1995). User-centred design: for users or by users? *Ergonomics*, 38 (8), 1667-1673.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, 37 (1), 32-64.
- Engelkamp, J. & Zimmer, H. D. (2006). *Lehrbuch der Kognitiven Psychologie*. Göttingen: Hogrefe.

- Federal Aviation Administration (2003). *Human Factors Design Standard (HFDS)*. DOT/FAA/CT-03/05. Atlantic City, NJ: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration.
- Federal Aviation Administration (2007). *Human Factors Criteria for Displays: A Human Factors Design Standard Update of Chapter 5*. DOT/FAA/TC-07/11. Atlantic City, NJ: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration.
- Fitts, P. M. (1951).(Hrsg.). *Human engineering for an effective air-navigation and traffic-control system*. Washington D.C.: National Research Council, Division of Anthropology and Psychology.
- Fitts, P. M. (1992). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology: General*, 121 (3), 262-269. *Reprint des Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- Flanagan, J. C. (1954). The critical incident technique. *Psychological Bulletin*, 51 (4), 327–358.
- Fleishman, E. A. (1975). Taxonomic problems in human performance research. In W. T. Singleton & P. Spurgeon (Hrsg.), *Measurement of human resources* (S. 49-72). London: Taylor & Francis.
- Floyd, C., Krabbel, A., Ratuski, S. & Wetzel, I. (1997). Zur Evolution der evolutionären Systementwicklung. *Informatik-Spektrum*, 20, 13–20.
- Fraser, H. M. A. (2009). Designing business: New models for success. In T. Lockwood (Hrsg.), *Design Thinking: Integrating innovation, customer experience and brand value* (S. 35-45). New York: Design Management Institute / Allworth Press.
- Fricke, M., Dehn, D. M. & Müller, T. (2000). Co-operative air traffic management: Human factor aspects of air/ground data link and multi-sector planning. *Fortschritt-Berichte VDI*. Düsseldorf: VDI Verlag.
- Fricke, M., Grundmann, G., Schmid, A. & Nielsen, K. U. (1997). *Anthropotechnische Untersuchungen der Mensch-Maschine-Schnittstelle in einem kooperativen Air Traffic Management*. ILR Mitt. 323. Berlin: Technische Universität, Institut für Luft- und Raumfahrt.
- Frieling, E. & Hoyos, C. Graf (1978). *Fragebogen zur Arbeitsanalyse (FAA)*. Deutsche Bearbeitung des PAQ. Bern: Huber.
- Frieling, E. & Sonntag, K. (1999). *Lehrbuch Arbeitspsychologie*. Bern: Hans Huber.
- Galvao, A. B. & Sato, K. (2005). Affordances in product architecture: Linking technical functions and users' tasks. *Proceedings of International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, 24.-28. September 2005, Long Beach,

California.

- Geis, T. & Hartwig, R. (1998). Auf die Finger geschaut. Neue ISO-Norm für benutzergerechte interaktive Systeme. *C't*, 14, 168–171.
- Genov, A. (2005). Iterative usability testing as continuous feedback: A control systems perspective. *Journal of Usability Studies*, 1 (1), 18–27.
- Gieth, R., Menge, S. & Ritz, S. (1996). *Software-ergonomische Qualitätssicherung: Methodiken zur Erfüllung der EU-Bildschirmrichtlinie* (Forschungsbericht No. FBI-HH-M-262/96). Hamburg: Bibliothek des Fachbereichs Informatik.
- Göbel, M., Stallkamp, J., Springer, J. & Luczak, H. (1994). 3D-Radar Display for Air-Traffic-Control-Task, In A. Grieco (Hrsg.), *WWDU '94. Book of Short Papers vol. 1-3. Fourth International Scientific Conference Work with Display Units University of Milan, October 2-5, 1994* (S. F22-F24). Mailand: University of Milan.
- Goldstein, E. B. (1997). *Wahrnehmungspsychologie. Eine Einführung*. Heidelberg: Spektrum.
- Gould, J. D. (1988). How to Design Usable Systems. In M. Helander (Hrsg.), *Handbook of Human-Computer-Interaction* (S. 757-789). Amsterdam: Elsevier Science.
- Gould, J. D. & Lewis, C. (1985). Designing for usability: key principles and what designers think. *Proceedings of the ACM, Human Computer Interaction*, 28 (3), 50–53.
- Granollers, T., Lorés, J. & Perdrix, F. (2003). Usability Engineering Process Model. Integration with Software Engineering. In D. Harris, V. Duffy, M. Smith, and C. Stephanidis (Hrsg.), *Proceedings of the 10th HCI International 2003*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Grote, G., Ryser, C., Wäfler, T., Windischer, A. & Wink, S. (2000). KOMPASS: a method for complementary function allocation in automated work systems. *International Journal of Human-Computer Studies*, 52, 267-287.
- Hacker, W. (2005). *Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit*. Bern: Huber.
- Hagemann, T. (2000). *Belastung, Beanspruchung und Vigilanz in der Flugsicherung unter besonderer Berücksichtigung der Towerlotsentätigkeit*. Dissertation. Universität Dortmund. Frankfurt am Main: Lang.
- Hall, R. R. (2001). Prototyping for usability of new technology. *International Journal of Human-Computer Studies*, 55 (4), 485–501.

- Hamborg, K.-C. & Schweppenhäuser, A. (1993). Zur Bedeutung psychologischer Arbeits- und Aufgabenanalyse für die Softwaregestaltung. In K.-H. Rödiger (Hrsg.), – *Von der Benutzungsoberfläche zur Arbeitsgestaltung* (S. 227-248). Stuttgart: B. G. Teubner.
- Hartmann, E. A. (2005). Arbeitssysteme und Arbeitsprozesse. Zürich: Vdf Hochschulverlag an der ETH.
- Hassenzahl, M., Burmester, M. & Koller, F. (2003). AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In J. Ziegler & G. Szwillus (Hrsg.), *Mensch & Computer 2003. Interaktion in Bewegung* (S. 187-196). Stuttgart: B. G. Teubner.
- Hauß, Y. (2006). Die Erhebung von Situation Awareness zur prospektiven Bewertung von Aspekten der Mensch-Maschine-Systemsicherheit. Dissertation. Berlin: Technische Universität.
- Hauß, Y. & Eyferth, K. (2003). Securing future ATM-concepts' safety by measuring situation awareness in ATC. *Aerospace Science and Technology*, 7, 471-427.
- HCD Connect (2012). Human Centered Design Toolkit. 2nd edition. Zugriff am 24.5.2012. Abgerufen von <http://www.hcdconnect.org/>.
- Heil, M. C. (1999). *Air Traffic Control Specialist Age and Cognitive Test Performance*. Final Report. (DOT/FAA/AM-99/23). Oklahoma City: Federal Aviation Administration, Civil Aeromedical Institute.
- Heilmann, H. (1981). Modelle und Methoden der Benutzermitwirkung in Mensch-Computer-Systemen. 10. Jahrbuch der EDV. Stuttgart: Forkel.
- Hein, M. (2003). *Optimierungspotentiale der Schnittstelle zwischen zentraler Vorfeld- und Platzkontrolle an deutschen Verkehrsflughäfen*. Dissertation. Dortmund: Universität Dortmund, Fakultät für Humanwissenschaften und Theologie.
- Heintz, A. (1998). *Anforderungsanalysen in der Flugverkehrskontrolle: ein Vergleich verschiedener Arbeitspositionen*. Forschungsbericht. (98,18). Köln: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Abt. Unternehmensorganisation und -information.
- Hilburn, B. (2004). *Head down time in aerodrome operations: A scope study*. Den Haag: Center for Human Performance Research.
- Hix, D. & Hartson, H. R. (1993). *Developing User Interfaces: Ensuring Usability through Product and Process*. New York: John Wiley & Sons.
- Hofinger, G. (2008). Fehler und Unfälle. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors. Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen* (S. 36-55). Heidelberg:

Springer.

- Hollnagel, E. (2006). Resilience: The challenge of the unstable. In E. Hollnagel, D. D. Woods & N. Leveson (Hrsg.), *Resilience Engineering* (S. 9-18). Aldershot, Hampshire: Ashgate Publishing.
- Hopkin, V. D. (1970). Work-rest cycles in air traffic control tasks. In A. J. Benson (Hrsg.), *AGARD conference proceedings No. 74 on Rest and Activity Cycles for the Maintenance of Efficiency of Personnel Concerned with Military Flight Operations* (S. 10-10.9). AGARD-CP-74-70. Neuilly-sur-Seine: North Atlantic Treaty Organization.
- Hopkin, V. D. (1980). The Measurement of the Air Traffic Controller. *Human Factors*, 22 (5), 547–560.
- Hopkin, V. D. (1995). *Human factors in air traffic control*. London: Taylor & Francis.
- Hopkin, V. D. (1998). The Impact of Automation on Air Traffic Control Specialists. In M. W. Smolensky & E. S. Stein (Hrsg.), *Human Factors in Air Traffic Control* (S. 391-419). San Diego: Academic Press.
- Hoyos, C. Graf (1974). *Arbeitspsychologie*. Stuttgart: Kohlhammer.
- IDEO (2012). *About IDEO*. Zugriff am 25.5.2012. Abgerufen von <http://www.ideo.com/about/>.
- Imai, M. (1993). *KAIZEN - Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb*. Frankfurt am Main: Ullstein.
- Isaac, A., Shorrock, S. T., Kennedy, R., Kirwan, B., Andersen, H. & Bove, T. (2002a). *Short Report on Human Performance Models and Taxonomies of Human Error in ATM (HERA)*. HRS/HSP-002-REP-02. Brüssel: Eurocontrol.
- Isaac, A., Shorrock, S. T., Kennedy, R., Kirwan, B., Andersen, H. & Bove, T. (2002b). *Technical Review of Human Performance Models and Taxonomies of Human Error in ATM (HERA)*. HRS/HSP-002-REP-01. Brüssel: Eurocontrol.
- Ives, B. & Olson, M. H. (1984). User involvement and MIS success: A review of research. *Management Science*, 30 (5), 586-603.
- Jackson, T. F. (1980). System user acceptance thru system user participation. *Proceedings of the Annual Symposium on Computer Application in Medical Care*, 3, 1715–1721.

- Jetter, H.-C. (2006). Die MCI im Wandel: User Experience als die zentrale Herausforderung? In A. M. Heinecke & H. Paul (Hrsg.), *Mensch & Computer 2006: Mensch und Computer im StrukturWandel* (S. 65-72). München: Oldenbourg.
- Johannsen, G. (1993). *Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin: Springer.
- Johnson, C. W. (1996). Impact of working environments upon human-machine dialogues: a formal logic for the integrated specification of physical and cognitive ergonomic constraints on user interface design. *Ergonomics*, 39 (3), 512-530.
- Jordan, P. W. (1998a). *An introduction to usability*. London: Taylor & Francis.
- Jordan, P. W. (1998b). Human factors for pleasure in product use. *Applied Ergonomics*, 29 (1), 25-33.
- Jürgensohn, T., Niessen, C. & Leuchter, S. (2002). Bedienermodellierung: Beispiele. In K.-P. Timpe, T. Jürgensohn & H. Kolrep (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik*. (S. 149-179). Düsseldorf: Symposion Publishing GmbH.
- Kalbach, J. (2003). Von Usability überzeugen. In S. Heinsen & P. Vogt (Hrsg.), *Usability praktisch umsetzen. Handbuch für Software, Web, Mobile Devices und andere interaktive Produkte* (S. 7–21). München: Hanser.
- Kallus, K. W., Barbarino, M. & van Damme, D. (1997). *Model of the cognitive aspects of air traffic control*. HUM.ET1.ST01.1000-REP-02. Brüssel: Eurocontrol.
- Kallus, K. W., Barbarino, M. & van Damme, D. (1998). *Integrated Task and Job Analysis of Air Traffic Controllers - Phase 1: Development of Methods*. HUM.ET1.ST01.1000-REP-03. Brüssel: Eurocontrol.
- Kallus, K. W., van Damme, D. & Dittmann, A. (1999). *Integrated Task and Job Analysis of Air Traffic Controllers - Phase 2: Task Analysis of En-Route controllers*. Brüssel: Eurocontrol.
- Kaltenhäuser, S. (2003). Tower and airport simulation: flexibility as a premise for successful research. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 11, 187-196.
- Kassner, A. & Vollrath, M. (2006). Akzeptanzmessung als Baustein für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen. In VDI (Hrsg.), *Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme* (S. 97-112). Wolfsburg: VDI.
- Kauer, M., Schreiber, M., Hakuli, S. & Bruder, R. (2010). Akzeptanz manöverbasierter Fahrzeugführungskonzepte am Beispiel von Conduct-by-Wire. In VDI (Hrsg.), *USEWARE 2010: Grundlagen - Methoden – Technologien* (S. 39-48). Düsseldorf: VDI-Verlag.

- Keil, M. & Carmel, E. (1995). Customer-developer links in software development. *Communications of ACM*, 38 (5), 33–44.
- Kellerer, J., Eichinger, A., Sandl, P., & Klingauf, U. (2009). Panoramic Displays – Usability-Untersuchung eines neuartigen Bedienkonzepts in einem repräsentativen Belastungskontext. In A. Lichtenstein, C. Stöbel & C. Clemens (Hrsg.), *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme, Tagungsband der 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme* (CD-ROM). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Kirchner, J.-H. (1998). *Ergonomie*. Skript zur Vorlesung an der Technischen Universität Braunschweig, Institut für Wirtschaftswissenschaften, Abteilung Arbeitswissenschaft.
- Kirchner, J.-H. (2000). *Einführung in die Arbeitswissenschaft*. Skript zur Vorlesung an der Technischen Universität Braunschweig, Institut für Wirtschaftswissenschaften, Abteilung Arbeitswissenschaft.
- Kirchner, J.-H. & Baum, E. (1986). *Mensch-Maschine-Umwelt. Ergonomie für Konstrukteure, Designer, Planer und Arbeitsgestalter*. Berlin: Beuth.
- Kirwan, B. (2005). Review of a three-year air traffic management human factors program. In B. Kirwan, M. Rodgers & D. Schäfer (Hrsg.), *Human Factors Impacts in Air Traffic Management* (S. 477-501). Aldershot, Hampshire: Ashgate Publishing Limited.
- Kirwan, B. & Ainsworth, L. K. (1992). *A guide to task analysis*. London: Taylor & Francis.
- Kirwan, B. & Flynn, M. (2002). Towards a controller-based conflict resolution tool – a literature review. ASA.01.CORA.2.DEL04-A.LIT. Brüssel: Eurocontrol.
- Kluwe, R. (2008). Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung. In B. Zimolong & U. Konradt (Hrsg.), *Ingenieurpsychologie* (S. 35-69). Göttingen: Hogrefe.
- König, C., Hofmann, T. & Bruder, R. (2012). Application of the user-centred design process according ISO 9241-210 in air traffic control. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 41 (1), 167–174.
- König, C., Hofmann, T., Bergner, J. & Bruder, R. (2008b). Evaluation eines Human-Machine-Interface für Tower-Fluglotsen unter Einsatz eines Simulators. In H. Brau, S. Diefenbach, M. Hassenzahl, F. Koller, M. Peissner & K. Röse (Hrsg.), *Usability Professionals 2008* (S. 295–297). Lübeck: German Chapter der Usability Professionals Association e. V.

- König, C., Hofmann, T., Bergner, J. & Bruder, R. (2009a). Einsatz von Beobachtungsinterviews bei der Entwicklung von Interfaces für Tower-Fluglotsen. In A. Lichtenstein, C. Stöbel & C. Clemens (Hrsg.), *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme, Tagungsband der 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme* (CD-ROM). Düsseldorf: VDI Verlag.
- König, C., Hofmann, T., Bergner, J. & Bruder, R. (2009b). Inkrementelle nutzergerechte Etablierung eines Towerlotsen-HMI. In H. Wandke, S. Kain & D. Struve (Hrsg.), *Mensch & Computer: 9. Fachübergreifende Konferenz für interaktive und kooperative Medien. Grenzenlos frei?*. München: Oldenbourg.
- König, C., Hofmann, T., Bruder, R., & Bergner, J. (2008a). Arbeitsplatz Tower - Interessensrelevante Visualisierung komplexer Datenstrukturen. In VDI (Hrsg.), *USEWARE 2008. Verfahrens- und Produktionstechnik, Engineering, Informationspräsentation und Interaktionskonzepte* [inkl. CD-ROM] (S. 287-298). Düsseldorf: VDI Verlag.
- König, C., Röbig, A., Hofmann, T., Bergner, J. & Bruder, R. (2010). Fluglotsen-Arbeitsplätze der Zukunft. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), *Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten. Tagungsband des 56. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft*. Dortmund: GfA-Press.
- König, C., Seidel, M., Röbig, A. & Bruder, R. (2011). (Multi-) Touch me!! Ergonomische Analyse von Fehlern bei Multitouch-Interaktionen. In H. Brau, A. Lehmann, K. Petrovic & M. C. Schroeder (Hrsg.), *Tagungsband zur Konferenz Usability Professionals 2011 im Rahmen der Mensch und Computer* (S. 106-110). Zugriff am 12.12.2011. Abgerufen von <http://issuu.com/germanupa/docs/usability-professionals-2011>.
- Köper, B. (2001). *Neue Anforderungen und Beanspruchung in der Flugsicherung durch moderne technische Systeme*. Dissertation. Universität Dortmund.
- Koros, A., Della Rocco, P. S., Panjwani, G., Ingurgio, V. & D'Arcy, J.-F. (2003). *Complexity in Air Traffic Control Towers: A Field Study. Part 1: Complexity Factors* (DOT/FAA/CT-TN03/14). Atlantic City, NJ: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration.
- Koros, A., Della Rocco, P. S., Panjwani, G., Ingurgio, V. & D'Arcy, J.-F. (2006). *Complexity in Air Traffic Control Towers: A Field Study. Part 2: Controller Strategies and Information Requirements* (DOT/FAA/TC-06/22). Atlantic City, NJ: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration.

- Kuijk, J. I. van (2010). *Managing Product Usability: How companies deal with usability in the development of electronic consumer products*. PhD Thesis. Delft University of Technology, Nederlanden.
- Kuijk, J. I. van, Christiaans, H., Kanis, H. & van Eijk, D. J. (2007). Usability in product development: A conceptual framework. In P. D. Bust (Hrsg.), *Contemporary Ergonomics, Conference Proceedings of The Ergonomics Society Annual Conference, 17-19 April 2007, Nottingham, UK* (S. 278-284). London: Taylor & Francis.
- Kuijk, J. I. van, Preijde, E. E., Toet, E. N. & Kanis, H. (2009). Expected versus experienced usability: what you see is not always what you get. In IEA (Hrsg.), *Proceedings of the 17th IEA World Congress on Ergonomics, 9. - 14. August, Beijing, China*.
- Kujala, S. (2003). User involvement: A review of the benefits and challenges. *Behaviour and Information Technology*, 22 (1), 1–16.
- Landau, K. (1978). *Das arbeitswissenschaftliche Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse – AET*. Dissertation. Technische Hochschule Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft.
- Landau, K. (2005). *Mensch-Maschine-Schnittstellen*. Unterlage zur Vorlesung an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft.
- Landau, K. & Hellwig, R. (2007). *Projektmanagement: Grundlagen und Anwendungen*. Stuttgart: Ergonomia.
- Laudeman, I. V., Shelden, S. G., Branstrom, R. & Brasil, C. L. (1998). *Dynamic density: An air traffic management metric*. NASA-TM-1998-112226. Moffett Field, CA: National Aeronautics and Space Administration, Ames Research Center.
- Laurig, W. (1990). *Grundzüge der Ergonomie: Erkenntnisse und Prinzipien*. Berlin: Beuth.
- Lawson, B. (2005). *How designers think. The design process demystified*. Oxford: Elsevier.
- Le Corbusier (1931). *Towards a New Architecture*. London: The architectural press.
- Lee, K. K., and Davis, T. J. (1996). The development of the final approach spacing tool (FAST): a cooperative controller-engineer design approach, *Journal of Control Engineering Practice*, 4, (8), 1161-1168.
- Leitner, K., Volpert, W., Greiner, B., Weber, W. G. & Hennes, K. (1987). *Analyse psychischer Belastung bei der Arbeit. Das RHIA Verfahren*. Bonn: TÜV Rheinland.

- Lindemann, U. (2009). *Methodische Entwicklung technischer Produkte - Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. Berlin: Springer.
- Litke, H.-D. (2007). *Projektmanagement. Methoden, Techniken, Verhaltensweisen, Evolutionäres Projektmanagement*. München: Hanser.
- Lockwood, T. (2009).(Hrsg.). *Design Thinking: Integrating innovation, customer experience and brand value*. New York: Design Management Institute / Allworth Press.
- Lowgren, J. & Stolterman, E. (2004). *Thoughtful interaction design: A design perspective on information technology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Luczak, H. (1975). Untersuchungen informatorischer Belastung und Beanspruchung des Menschen. *Fortschrittsberichte der VDI Zeitschriften*, 10 (2). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Luczak, H., Volpert, W., Raeithel, A. & Schwier, W. (1989). *Arbeitswissenschaft. Kerndefinition, Gegenstandskatalog, Forschungsgebiete*. Köln: TÜV Rheinland.
- Mackay, W. E. (1999). Is paper safer? The role of paper flight strips in air traffic control. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 6 (4), 311-340.
- Maeda, J. (2007). *Simplicity. Die zehn Gesetze der Einfachheit*. München: Elsevier.
- Mahlke, S. (2008). *User Experience of Interaction with Technical Systems. Theories, methods, empirical results, and their application to the development of interactive systems*. Dissertation. Technische Universität Berlin, Fakultät Verkehrs- und Maschinensysteme.
- Manhartsberger, M. & Musil, S. (2001). *Web usability*. Bonn: Galileo Press.
- Manning, C. & Stein, E. (2005). Measuring Air Traffic Controller Performance in the 21st Century. In B. Kirwan, M. Rodgers & D. Schäfer (Hrsg.), *Human Factors Impacts in Air Traffic Management* (S. 283–316). Aldershot, Hampshire: Ashgate Publishing Limited.
- Marti, P. (1998). Structured task analysis in complex domains. *Ergonomics*, 41(11), 1664-1677.
- Marti, P. & Scrivani, P. (2002). The representation of context in the simulation of complex systems. *Cognitive Technologies Journal*, 8 (1), 32-42.
- Masson, M. & Pariès, J. (1998). Team resource management training for air traffic controllers. Eurocontrol (Hrsg.), *Proceedings of the Second Eurocontrol Human Factors Workshop. Teamwork in Air Traffic Services* (S. 26-40). Brüssel: Eurocontrol.
- Mayall, W. H. (1979). *Principles in Design*. London: Design Council.

- Mayhew, D. J. (1999). *The usability engineering lifecycle: a practitioner's handbook for user interface design*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers.
- McCormick, E. J., Jeanneret, P. R. & Mecham, R. C. (1969). *The development and background of the Position analysis questionnaire*. Lafayette, IN: Purdue University, Occupational Research Center.
- McCurdy, M., Connors, C., Pyrzak, G., Kanefsky, B. & Vera, A. (2006). Breaking the Fidelity Barrier: An Examination of our Current Characterization of Prototypes and an Example of a Mixed-Fidelity Success. In R. E. Grinter, T. Rodden, P. M. Aoki, E. Cutrell, R. Jeffries & G. M. Olson (Hrsg.), *Proceedings of the 2006 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2006)*. New York: ACM.
- McNeese, M. D. (2002). Discovering how cognitive systems should be engineered for aviation domains: A developmental look at work, research and practice. In M. D. McNeese & M. A. Vidulich (Hrsg.), *Cognitive systems engineering in military aviation environments: Avoiding cogminutia fragmentosa!* (S. 79-119). Ohio: Wright-Patterson Air Force Base, Human Systems Information Analysis Center.
- Mommel, T. & Reiterer, H. (2008). *User-Interface-Entwicklung mit interaktiven Spezifikationen*. Konstanz: Bibliothek der Universität Konstanz.
- Mommel, T., Gundelsweiler, F. & Reiterer, H. (2007). CRUISER: A Cross-Discipline User Interface and Software Engineering Lifecycle. J. Jacko (Hrsg.), *Proceedings of the 12th international conference on Human-computer interaction: interaction design and usability* (S. 174–183). Berlin: Springer.
- Mensen, H. (2004). *Moderne Flugsicherung: Organisation, Verfahren, Technik*. Berlin: Springer.
- Milchrahm, E. (2002). Entwicklung eines Modells zur Akzeptanzproblematik von Informations-technologie. In R. Hammwöhner, C. Wolff & C. Womser-Hacker (Hrsg.), *Information und Mobilität, Optimierung und Vermeidung von Mobilität durch Information. Proceedings des 8. Internationalen Symposiums für Informationswissenschaft (ISI 2002), Regensburg, 8.-11. Oktober 2002* (S. 27 – 44). Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH.
- Miller, G., Galanter, E. & Pribram, K. (1974). *Pläne und Strukturen des Verhaltens*. Stuttgart: Klett.
- Möhlenbrink, C. (2011). *Modellierung und Analyse von menschlichen Entscheidungsheuristiken mit farbigen Petrinetzen*. Forschungsbericht. Köln: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt.

- Möhlenbrink, C., Friedrich, M. & Papenfuß, A. (2009). RemoteCenter: Eine Mikrowelt zur Analyse der mentalen Repräsentation von zwei Flughäfen während einer Lotsentätigkeitsaufgabe. In A. Lichtenstein, C. Stöbel & C. Clemens (Hrsg.), *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme, Tagungsband der 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme* (S. 61-62 bzw. CD-ROM). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Moran, T. P. (1981). The Command Language Grammar: a representation for the user interface of interactive computer systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 15, 3-50.
- Morrow, D., Leirer, V., Altierie, P. & Fitzsimmons, C. (1994). When expertise reduces age differences in performance. *Psychology and Aging*, 9, 134-148.
- Moshagen, M. & Thielsch, M. T. (2010). Facets of visual aesthetics. *International Journal of Human-Computer Studies*, 68, 689-709.
- Müller, T. (1997). Die Ebenenstruktur der Arbeitswissenschaft. Eine Analyse arbeitswissenschaftlicher Publikationen auf Grundlage des Gegenstandskatalogs der Arbeitswissenschaft. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 51, 1-10.
- Nebe, K., Grötzbach, L. & Hartwig, R. (2006). Integrating User Centered Design in a Product Development Lifecycle Process: A Case Study. In H. R. Arabnia & H. Reza (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Software Engineering Research and Practice & Conference on Programming Languages and Compilers, SERP 2006, Las Vegas, Nevada, USA, 26.-29. Juni 2006* (S. 695–701). Las Vegas: CSREA Press.
- Nebe, K., Zimmermann, D. & Paelke, V. (2008). Integrating Software Engineering and Usability Engineering. In S. Pinder (Hrsg.), *Advances in Human-Computer Interaction* (S. 331–350). Wien: I-Tech Education and Publishing.
- Ngo, D. C. L., Teo, L. S. & Byrne, J. G. (2000). Formalising guidelines for the design of screen layouts. *Displays*, 21, 3-15.
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. San Diego: Morgan Kaufmann.
- Niessen, C., Eyferth, K. & Bierwagen, T. (1999). Modelling cognitive processes of experienced air traffic controllers. *Ergonomics*, 42 (11), 1507-1520.
- Nisbett, R. E. & Wilson, T. D. (1977). Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84, 231-259.
- Norman, D. A. (2005). Human-Centered Design Considered Harmful. *Interactions*, 12 (4), 14-19.

- Nunes, A. & Mogford, R. H. (2003). Identifying controller strategies that support the „picture“. In Human Factors and Ergonomics Society (Hrsg.), *Proceedings of the 47th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society* (S. 71-75). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Obendorf, H. (2009). *Minimalism. Designing simplicity*. London: Springer.
- Oehme, A. & Schulz-Rueckert, D. (2010). Distant Air Traffic Control for Regional Airports. In F. Vanderhaegen (Hrsg.), *Proceedings of 11th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design and Evaluation of Human-Machine Systems*. Valenciennes: IFAC.
- Oltersdorf, K. M. (2007). Über HMI: Versuch einer Definition. In M. Rötting, G. Wozny, A. Klostermann & J. Huss (Hrsg.), *Prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion. 7. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. Berlin 10. bis 12. Oktober 2007*. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 22 Nr. 25 (S. 169-170 + CD-ROM). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Oppermann, R., Murchner, B., Pateau, M., Pieper, M., Simm, H. & Stellmacher, I. (1988). *Evaluation von Dialogsystemen. Der software-ergonomische Leitfaden EVADIS*. Berlin: de Gruyter.
- Ortlieb, S. & Holz auf der Heide, B. (1993). Benutzer bei der Software-Entwicklung angemessen beteiligen - Erfahrungen und Ergebnisse mit verschiedenen Konzepten. In K.-H. Rödiger (Hrsg.), *Software-Ergonomie '93 – Von der Benutzungsoberfläche zur Arbeitsgestaltung* (S. 249-261). Stuttgart: B. G. Teubner.
- Owen, C. L. (1998). Design, Advanced Planning and Product Development. In A. de Moraes & A. Jefferson de Oliveira (Hrsg.), *Proceedings of 3. Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 26. Oktober 1998*, Rio de Janeiro, Brazil.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.-H. (2007). *Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung*. Berlin: Springer.
- Pariès, J., Bieder, C., Reason, J. & Isaac, A. (2003). *The Development of a Safety Management Tool within ATM (HERA-SMART)*. HRS/HSP-002-REP-08. Brüssel: Eurocontrol.
- Perott, A., Helbig, R., Bruder, R. & Leonhardt, J. (2011). Ermittlung von Benutzeranforderungen bei komplexen Systemen mit Hilfe von Szenarien. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), *Bericht zum 57. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 23. - 25. März 2011, Chemnitz*. Dortmund: GFA Press.

- Perott, A., Schader, N., Bruder, R. & Leonhardt, J. (2012). Development of a knowledge management system for complex domains. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 41 (1), 2757-2764.
- Peschke, H. (1987). Partizipative Entwicklung und Einführung von Informationssystemen. In: H. Balzert, H. U. Hoppe, R. Oppermann, H. Peschke, G. Rohr & N. A. Streitz (Hrsg.), *Einführung in die Software-Ergonomie* (S. 299-322). Berlin: de Gruyter.
- Pinska, E. (2007). *Warsaw tower observations*. EEC Note No. 02/07. Brétigny-sur-Orge: Eurocontrol.
- Pomberger, G. & Blaschek, G. (1993). *Software engineering*. München: Hanser.
- Ponn, J. & Lindemann, U. (2008). *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte*. Berlin: Springer.
- Pounds, J. & Isaac, A. (2002). *Development of an FAA-EUROCONTROL technique for the analysis of human error in ATM*. Washington D. C.: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Office of Aerospace Medicine.
- Preim, B. (1999). *Entwicklung interaktiver Systeme*. Berlin: Springer.
- Prümper, J. & Anft, J. (1993). Die Evaluation von Software auf Grundlage des Entwurfs zur internationalen Ergonomie-Norm ISO 9241 Teil 10 als Beitrag zur partizipativen Systemgestaltung – ein Fallbeispiel. In K.-H. Rödiger (Hrsg.), *Software-Ergonomie '93 – Von der Benutzungsoberfläche zur Arbeitsgestaltung* (S. 145-156). Stuttgart: B. G. Teubner.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, 13 (3), 257–266.
- Rauterberg, M. (1994). *Benutzerorientierte Software-Entwicklung: Konzepte, Methoden und Vorgehen zur Benutzerbeteiligung*. Zürich: Vdf Hochschulverlag an der ETH.
- Rauterberg, M. (1996). How to measure cognitive complexity in human-computer interaction. *Cybernetics and systems research*, 13 (2), 815–820.
- Rehm, J. & Strack, F. (1994). Kontrolltechniken. In T. Herrmann & W. Tack (Hrsg.), *Methodologische Grundlagen der Psychologie, Themenbereich B, Serie I, Band 1 der Enzyklopädie der Psychologie* (S. 508-555). Göttingen: Hogrefe.

- Reid, G. B. & Nygren, T. E. (1988). The subjective workload assessment technique: A scaling procedure for measuring mental workload. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Hrsg.), *Human mental workload* (S. 185-218). Amsterdam: Elsevier.
- Rittel, H. & Webber, M. (1973). Dilemmas in a General Theory of Planning. *Policy Sciences*, 4, 155–169.
- Röbig, A., König, C., Schwanke, S., Hofmann, T. & Bruder, R. (2010a). Darstellung von Wetterphänomenen für Flugverkehrskontrolllotsen. In VDI (Hrsg.), *USEWARE 2010: Grundlagen - Methoden - Technologien*, VDI-Berichte Bd. 2099 (S. 265–274). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Röbig, A., König, C., Hofmann, T. & Bruder, R. (2010b). Entwicklung eines Low Cost Tower Simulators zur Evaluation arbeitswissenschaftlicher Fragestellungen. In VDI (Hrsg.), *USEWARE 2010: Grundlagen - Methoden - Technologien*, VDI-Berichte Bd. 2099 (S. 67–76). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Rohmert, W. (1973). *Psycho-physische Belastung und Beanspruchung von Fluglotsen*. Schriftenreihe „Arbeitswissenschaft und Praxis“ (Bd. 30). Berlin: Beuth.
- Rohmert, W. (1975). Beanspruchung des Flugverkehr-Kontrollpersonals (unter Berücksichtigung künftiger Systeme). DGLR-Nummer 75-026. In DGLR (Hrsg.), *Bericht der 8. Jahrestagung Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e. V. (DGLR), 16.-18. September 1975*. Bonn-Bad Godesberg: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt.
- Rosenberg, B., Rehmann, J. & Stein, E. (1982). *The Relationship Between Effort Rating and Performance in a Critical Tracking Task*. DOT/FAA/CT-82/66. Washington D.C.: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration.
- Rosenstiel, L. von (2003). *Grundlagen der Organisationspsychologie: Basiswissen und Anwendungshinweise*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Rosson, M. & Carroll, J. M. (2002). *Usability Engineering. Scenario-Based Development of Human-Computer Interaction*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.
- Roth, E., Patterson, E. S. & Mumaw, R. J. (2002). Cognitive Engineering: Issues in User-Centered System Design. In J. J. Marciniak (Hrsg.), *Encyclopedia of Software Engineering*. New York: Wiley Interscience.
- Royce, W. W. (1970). Managing the development of large software systems. In IEEE (Hrsg.), *Proceedings of IEEE WESCON, August 1970* (S. 1-9). New York: IEEE Press.

- Rühmann, H. (1993). Isometrische Stellungskräfte an Stellteilen und Betriebsmitteln. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Ergonomie* (S. 485-492). München: Hanser.
- Ruitenbergh, B. (1998). Teamwork for Air Traffic Controllers. In Eurocontrol (Hrsg.), *Proceedings of the Second Eurocontrol Human Factors Workshop. Teamwork in Air Traffic Services* (S. 12-19). Brüssel: Eurocontrol.
- Säde, S. (1999). Representations of smart product concepts in user interface design. In W. S. Green & P. Jordan (Hrsg.), *Human Factors in Product Design* (S. 64-72). London: Taylor & Francis.
- Sarodnick, F. & Brau, H. (2006). *Methoden der Usability Evaluation: wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung*. Bern: Huber.
- Sarter, N. B. & Woods, D. D. (1995). How in the world did we ever get into that mode? Mode error and awareness in supervisory control. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37 (1), 5–19.
- Schlick, C. M., Bruder, R. & Luczak, H. (2010). *Arbeitswissenschaft*. Springer, Berlin.
- Schmidt, R. F. & Schaible, H.-G. (2006). *Neuro- und Sinnesphysiologie*. Heidelberg: Springer.
- Schmidt, R. F., Lang, F. & Thews, G. (2005). *Physiologie des Menschen, mit Pathophysiologie*. Heidelberg: Springer.
- Schmidtke, H. (1976). *Ergonomische Bewertung von Arbeitssystemen: Entwurf eines Verfahrens von Heinz Schmidtke*. München: Carl Hanser.
- Schneidermeier, T., Böhm, P. & Wolff, C. (2011). Der Sonne hinterher: Benutzerzentriertes User Interface Design für einen Solarthermie-Regler. In H. Brau, A. Lehmann, K. Petrovic & M. C. Schroeder (Hrsg.), *Tagungsband zur Konferenz Usability Professionals 2011 im Rahmen der Mensch und Computer* (S. 82–88). Zugriff am 12.12.2011. Abgerufen von <http://issuu.com/-germanupa/docs/usability-professionals-2011>.
- Schroda, F. (2000). „Über das Ende wird am Anfang entschieden“. *Zur Analyse der Anforderungen von Konstruktionsaufträgen*. Dissertation, Technische Universität Berlin.
- Schulz-Rückert, D. (2007). Erstellung eines Menschmodells „Flugplatzkontrolle“. Motivation, Methoden, Werkzeuge, Ergebnisse, Ausblick. In M. Rötting, G. Wozny, A. Klostermann & J. Huss (Hrsg.), *Prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion. 7. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. Berlin 10. bis 12. Oktober 2007*. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 22 Nr. 25 (S. 161–166). Düsseldorf: VDI Verlag.

- Schulz-Rückert, D. (2009). Entwicklung eines anwendungsnahen, digitalen Menschmodells der Flugplatzkontrolle. In A. Lichtenstein, C. Stöbel & C. Clemens (Hrsg.), *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme, Tagungsband der 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme* (S. 26–31). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Schütze, M. & Ulbricht, S. (2006). Einsatz verschiedenartiger Arbeitsmittel in den frühen Phasen der Produktentwicklung – eine ergebnis- und prozessorientierte Analyse. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 50 (2), 79-91.
- Seffah, A. & Metzker, E. (2004). The obstacles and myths of usability and software engineering. *Communications of the ACM*, 47 (12), 71-76.
- Shepherd, A. (2000). HTA as a framework for task analysis. In J. Annett & N. Stanton (Hrsg.), *Task Analysis* (S. 9-24). London: Taylor & Francis.
- Sheridan, T. B. (2002). *Humans and Automation: System design and research issues*. Santa Monica, CA: John Wiley.
- Shneiderman, B. & Plaisant, C. (2005). *Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction*. Boston: Pearson.
- Specker, A. (2001). *Modellierung von Informationssystemen: ein methodischer Leitfaden zur Projektabwicklung*. Zürich: Vdf Hochschulverlag an der ETH.
- Spinas, P., Waeber, D. & Strohm, O. (1990). *Kriterien benutzerorientierter Dialoggestaltung und partizipative Softwareentwicklung: eine Literaturlaufarbeitung*. Projektbericht 1 zum Forschungsprojekt „Benutzerorientierte Softwareentwicklung und Schnittstellengestaltung“. Zürich: ETH, Institut für Arbeitspsychologie.
- Stanton, N. A. & Young, M. S. (1999). *A guide to methodology in ergonomics. Designing for human use*. London: Taylor & Francis.
- Stapelkamp, T. (2007). *Screen- und Interfacedesign: Gestaltung und Usability für Hard- und Software*. Berlin: Springer.
- Struckmeier, A. (2011). Warum „gutes Aussehen“ nicht immer von Vorteil ist. Über den Einfluss der optischen Gestaltung von Prototypen auf das Nutzerverhalten im Usability-Test. In H. Brau, A. Lehmann, K. Petrovic & M. C. Schroeder (Hrsg.), *Tagungsband zur Konferenz Usability Professionals 2011 im Rahmen der Mensch und Computer* (S. 120-126). Zugriff am 12.12.2011. Abgerufen von <http://issuu.com/germanupa/docs/usability-professionals-2011>.

- Tavanti, M. (2006a). *Control Tower Operations: A Literature Review of Task Analysis Studies* (EEC Note No. 10/06). Brétigny-sur-Orge: Eurocontrol Experimental Centre.
- Tavanti, M. (2006b). *Control Tower Operations: Roles Description* (EEC Technical/Scientific Report No. 2006-012). Brétigny-sur-Orge: Eurocontrol Experimental Centre.
- Tavanti, M. (2007). Augmented reality for tower: Using scenarios for describing tower activities. In IEEE (Hrsg.), *Digital Avionics Systems Conference, 2007. DASC '07.* (S. 5.A.4–1–5.A.4–12). Dallas, TX: IEEE.
- Tavanti, M., Le-Hong, H. & Dang, T. (2003). Three-dimensional Stereoscopic Visualization for Air Traffic Control Interfaces: a Preliminary Study. In IEEE (Hrsg.), *Proceedings of AIAA/IEEE 22nd Digital Avionics Systems Conference, Indianapolis.* Piscataway, NJ: IEEE Press.
- Thielsch, M. T. & Moshagen, M. (2011). Erfassung visueller Ästhetik mit dem VisAWI. In H. Brau, A. Lehmann, K. Petrovic & M. C. Schroeder (Hrsg.), *Tagungsband zur Konferenz Usability Professionals 2011 im Rahmen der Mensch und Computer* (S. 260-265). Zugriff am 12.12.2011. Abgerufen von <http://issuu.com/germanupa/docs/usability-professionals-2011>.
- Thomas, A. (1991). *Grundriss der Sozialpsychologie. Band 1: Grundlegende Begriffe und Prozesse.* Göttingen: Hogrefe.
- Tractinsky, N., Katz, A. S. & Ikar, D. (2000). What is beautiful is usable. *Interacting with computers*, 13 (2), 127–145.
- Truitt, T. R. (2006). *Electronic Flight Data in Airport Traffic Control Towers: Literature Review.* DOT/FAA/CT-05-13. Atlantic City: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration.
- Tsonis, C. G. (2003). *An analysis of information complexity in air traffic control human machine interaction.* Masterarbeit. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
- Tullis, T. S. (1988). Screen Design. In M. Helander (Hrsg.), *Handbook of Human-Computer-Interaction* (S. 377-411). Amsterdam: Elsevier.
- Ulich, E. (2001). *Arbeitspsychologie.* Zürich: Vdf Hochschulverlag an der ETH.
- VanDeventer, A. D., Collins, W. E., Manning, C. A., Taylor, D. K. & Baxter, N. E. (1984). *Studies of poststrike air traffic control specialist trainees: I. Age, biographic factors, and selection test performance related to academy training success.* (FAA-AM-84-6). Oklahoma City: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Civil Aeromedical Institute.

- Vandrey, C. & Mielke, T. (2012). *Fluglotsen Testvorbereitung. Das psychologische Moment*. Jülich: Vandrey & Vandrey.
- Vandrey, P. & Vandrey, C. (2012). *Fluglotsen Testvorbereitung. Aufbau und ausgewählte Elemente. Band 1: Deutsche Flugsicherung*. Jülich: Vandrey & Vandrey.
- Vogt, J. (1998). *Psychophysiologische Beanspruchung von Fluglotsen*. Dissertation. Universität Dortmund.
- Vogt, J. (2002). *Contributions of Psychology to the Sustainable Development of Air Traffic Management*. Habilitation. Universität Dortmund.
- Vogt, J., Adolph, L., Ayan, T., Udovic, A. & Kastner, M. (2002). Stress in modern air traffic control systems and potential influences on memory. *Human Factors and Aerospace Safety*, 2 (4), 355-378.
- Vogt, J., Hagemann, T. & Kastner, M. (2006). The Impact of Workload on Heart Rate and Blood Pressure in En-Route and Tower Air Traffic Control. *Journal of Psychophysiology*, 20 (4), 297-314.
- Volpert, W. (1990). Welche Arbeit ist gut für den Menschen? Notizen zum Thema Menschenbild und Arbeitsgestaltung. In F. Frei & I. Udris (Hrsg.), *Das Bild der Arbeit* (S. 23-40). Bern: Huber.
- Volpert, W., Oesterreich, R., Gablenz-Kolakovic, S., Krogoll, T. & Resch, M. (1983). *Verfahren zur Ermittlung von Regulationserfordernissen in der Arbeitstätigkeit (VERA)*. Bonn: TÜV Rheinland.
- Vroom, V. H. & Jago, A. G. (1988). *The new leadership: Managing participation in organizations*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Wächter, H., Modrow-Thiel, B. & Roßmann, G. (1999). Verfahren zur Analyse von Tätigkeitsstrukturen und prospektive Arbeitsgestaltung bei Automatisierung (ATAA). In: H. Dunckel (Hrsg.), *Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren* (S. 31-53). Zürich: Vdf Hochschulverlag an der ETH.
- Wandke, H., Oed, R., Metzker, E., van Ballegooy, M. & Nitschke, J. (2001). Die Entwicklung von User Interfaces als arbeitswissenschaftlicher Prozess und seine Unterstützung durch Software-Tools. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 55, 1-14.
- Wandmacher, J. (1993). *Software-Ergonomie*. Berlin: de Gruyter.
- Wandmacher, J. (2002). *Einführung in die psychologische Methodenlehre*. Heidelberg: Spektrum.

- Ware, C. (2004). *Information Visualization. Perception for Design*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Wertheimer, M. (1922). *Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt I. Psychological Research, 1* (1), 47-58.
- Wertheimer, M. (1923). *Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt II. Psychological Research, 4* (1), 301-350.
- Westermann, R. (2000). *Wissenschaftstheorie und Experimentalmethodik. Ein Lehrbuch zur Psychologischen Methodenlehre*. Göttingen: Hogrefe.
- Wickens, C. & Colcombe, A. (2007). Dual-task performance consequences of imperfect alerting associated with a cockpit display of traffic information. *Human Factors, 49*, 839-850.
- Wickens, C. D. (1995). *Display Integration of Air Traffic Control Information: 3D Displays and Proximity Compatibility. Technical Report* (ARL-95-2/FAA-95-2). Savoy, IL: University of Illinois, Institute of Aviation, Aviation Research Lab.
- Wickens, C. D. & Hollands, J. G. (2000). *Engineering Psychology and Human Performance*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Wickens, C. D., Mavor, A. S. & McGee, J. (1997). *Flight to the future: Human factors in air traffic control*. Washington, D.C: National Academics Press.
- Wilkins, A. J. & Nimmo-Smith, N. I. (1987). The clarity and comfort of printed text. *Ergonomics, 30* (12), 1705-1720.
- Wirth, T. (2002). *Missing Links. Über gutes Webdesign*. München: Carl Hanser.
- Witt, O., Schwarz, J. & Özyurt, E. (2004). Touchbasierte Benutzungsoberfläche für ein Marine-Einsatzsystem. In M. Grandt & A. Bauch (Hrsg.), *Innovative Interaktionstechnologien für Mensch-Maschine-Schnittstellen* (DGLR-Bericht 2010-01, S. 133-145). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft-und Raumfahrt e.V.
- Woletz, N. (2006). *Evaluation eines User-Centred Design-Prozessassessments - Empirische Untersuchung der Qualität und Gebrauchstauglichkeit im praktischen Einsatz*. Dissertation. Universität Paderborn.
- Wottawa, H. & Thierau, H. (2003). *Lehrbuch Evaluation*. Bern: Huber.

- Wrethall, J. (2006). Properties of resilient organizations: An initial view. In E. Hollnagel, D. D. Woods & N. Leveson (Hrsg.), *Resilience Engineering* (S. 275-286). Aldershot, Hampshire: Ashgate Publishing.
- Wulf, J. E. (2002). *Elementarmethoden zur Lösungssuche*. Dissertation. Technische Universität München.
- Xing, J. (2004). *Measures of Information Complexity and the Implications for Automation Design* (Final Report). Oklahoma City: Federal Aviation Administration, Civil Aerospace Medical Institute.
- Xing, J. & Manning, C. A. (2005). *Complexity and automation displays of air traffic control: Literature review and analysis* (DOT/FAA/AM-05/4). Oklahoma City: Federal Aviation Administration, Civil Aerospace Medical Institute.
- Yeh, M. (2004). *Human Factors Considerations in the Design and Evaluation of Moving Map Displays of Ownship on the Airport Surface*. DOT/FAA/AR-04/39. Cambridge, MA: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Research and Special Programs Administration.
- Zapf, D., Brodbeck, F. C. & Prümper, J. (1989). Handlungsorientierte Fehlertaxonomie in der Mensch-Computer-Interaktion. Theoretische Überlegungen und eine erste Überprüfung im Rahmen einer Expertenbefragung. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 33 (4). 178-187.
- Ziegler, J. E. & Fährnrich, K.-P. (1988). Direct manipulation. In M. Helander (Hrsg.), *Handbook of Human-Computer-Interaction* (S. 123-133). Amsterdam: Elsevier.
- Zimmermann, C. (2001). *Belastung und Beanspruchung von Fluglotsen: Validierung und vergleichende Bewertung arbeitsanalytischer Fragebogenverfahren unter Einschluß objektiver Arbeitsplatzdaten*. Dissertation. Universität Dortmund.
- Zimmermann, D. & Grötzbach, L. (2007). A Requirement Engineering Approach to User Centered Design. *Lecture notes in computer science*, 4550, 360–372.

8.2 Normen und Verordnungen

10075-2 (2000-06). *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung. Teil 2: Gestaltungsgrundsätze*. Berlin: Beuth.

Betriebsverfassungsgesetz (2001). Zugriff am 12.1.2012. Abgerufen von <http://dejure.org/gesetze/BetrVG>.

DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (2008). *Betriebsanweisung Flugverkehrs-Kontrolle*. Gültig ab 18.12.2008. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH.

DIN EN 981 (2009-01). *Sicherheit von Maschinen - System akustischer und optischer Gefahrensignale und Informationssignale*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 13407 (2000-11). *Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 6385 (2004-05) *Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 9241-11 (1999-01). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten. Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit – Leitsätze*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 9241-110 (2008-06). *Ergonomische Anforderungen der Mensch-System-Interaktion. Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 9241-210 (2011-01). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 9241-400 (2007-05). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Teil 400: Grundsätze und Anforderungen für physikalische Eingabegeräte*. Berlin: Beuth.

Gesetz über Betriebsärzte, Sicherheitsingenieure und andere Fachkräfte für Arbeitssicherheit (Arbeitssicherheitsgesetz)(1973). Zugriff am 22.5.2012. Abgerufen von <http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/asig/gesamt.pdf>.

International Civil Aviation Organization (2001). *Procedures for Air Navigation Services*. Montreal, Canada: International Civil Aviation Organization (ICAO).

ISO/TR 16982 (2002-06). *Ergonomics of human-system interaction - Usability methods supporting human-centred design*. Technical Report. Berlin: Beuth.

VDI Richtlinie 2206 (2004-04). *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. Düsseldorf: VDI.

VDI Richtlinie 2221 (1993-05). *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Produkte*. Düsseldorf: VDI.

VDI/VDE 3850 (2002). *Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen. Interaktionsgeräte für Bildschirme. Blatt 2*. Düsseldorf: VDI.

Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) (2004). Zugriff am 22.5.2012. Abgerufen von http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/arbst_ttv_2004/gesamt.pdf.

Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirmarbeitsverordnung – BildscharbV) (1996). Zugriff am 22.5.2012. Abgerufen von <http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/bildscharbv/gesamt.pdf>.

8.3 Unveröffentlichte Quellen

- Burmeister, A. (1996). *Entwurf und Implementierung einer grafischen Benutzungsschnittstelle für Fluglotsen als Komponente eines Flugsicherungssimulationssystems*. Diplomarbeit an der Technischen Universität Berlin, Fachgebiet Flugführung und Luftverkehr.
- Gräf, M. (2010). *Arbeitssystemanalyse am Beispiel eines Tower-Lotsen an einem Regionalflughafen*. Unveröffentlichte Studienarbeit an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft.
- Hennrich, M., Schweda, M. & Kulhei, S. (2007). *Ablesbarkeit und Bedienbarkeit eines Interactive Pen Displays unter verschiedenen Bedingungen*. Unveröffentlichtes Advanced Design Project an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft.
- Isselmann, W. (2007). *Bewertung und Anwendung innovativer Medientechnik in der Flugsicherung*. Unveröffentlichte Studienarbeit an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft.
- Krüger, A. (2011). *Anwendung und Reflektion des Design Thinking Ansatzes zur Entwicklung eines Produktkonzepts aus interdisziplinärer Sicht*. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft.
- Lenz, E. (2009). *Blickbewegungsanalyse*. Unveröffentlichte Ergonomiearbeit an der Universität Duisburg-Essen.
- Perott, A. (2009). *Entwicklung von Anforderungen und Bewertungskriterien für innovative Medientechnik in der Flugsicherung*. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft.
- Wittbrodt, N. (2007). *Untersuchung der Gestaltungsmöglichkeiten des Mensch-Maschine-Systems Flugplatzkontrolle für den zukünftigen Flughafen Berlin Brandenburg International*. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Technischen Universität Berlin, Fachgebiet Flugführung und Luftverkehr.
- Zetker, H. (2011). *Prozessorientierte Gestaltung informatorischer Arbeitssysteme*. Unveröffentlichte Studienarbeit an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft.

9 Verzeichnisse

9.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prinzip der sequentiellen Modelle	15
Abbildung 2: Prinzip der iterativen Modelle.....	18
Abbildung 3: Prinzip der prototypischen Vorgehensmodelle.....	19
Abbildung 4: Prinzip des menschenzentrierten Gestaltungsprozesses nach DIN EN ISO 9241-210.....	33
Abbildung 5: Vergleich von nutzerfokussierten Vorgehensmodellen.....	36
Abbildung 6: Arbeitssystemmodell Regional-Tower-Lotse (Gräf, 2010).....	47
Abbildung 7: Beispiel für die Anordnung von Arbeitsmitteln.....	55
Abbildung 8: Aufgabenhierarchie nach Rohmert (1973, S. 14)	68
Abbildung 9: Ebenenmodell der User Interface Gestaltung (angepasst nach Wandke et al., 2001) ..	78
Abbildung 10: Systematisierung von Eingabegeräten (Perott, 2009, S. 53).....	80
Abbildung 11: Mögliche Informationsanordnung auf einem Bildschirm.....	83
Abbildung 12: Auswahl von Gestaltungsmitteln.....	87
Abbildung 13: Anordnung von Anzeigen im TOSIM.....	106
Abbildung 14: Simulationskontinuum, stark vereinfacht nach Luczak (1975, S. 59).....	108
Abbildung 15: Prinzip der Fallstudien.....	111
Abbildung 16: Aktivität und Einzelaktivitäten.....	111
Abbildung 17: Fallstudie 1 - Prinzip.....	113
Abbildung 18: Fallstudie 1 - Designergebnis der 1. Runde.....	117
Abbildung 19: Fallstudie 1 - Designergebnis der 2. Runde.....	120
Abbildung 20: Fallstudie 1 - Designergebnis der 3. Runde.....	123
Abbildung 21: Fallstudie 2 - Prinzip.....	127
Abbildung 22: Fallstudie 2 - Prinzip des iterativen Vorgehens (leicht angepasst nach König et al., 2009b).....	128
Abbildung 23: Fallstudie 2 - DEPCOS und Tower-TID.....	129
Abbildung 24: Fallstudie 2 - Konzept der sich verzahnenden Ereignisse (Ausschnitt).....	131
Abbildung 25: Fallstudie 2 - Konzept Zeitband (Ausschnitt).....	131
Abbildung 26: Fallstudie 2 - Konzept Zeitstrahl (Ausschnitt).....	132
Abbildung 27: Fallstudie 2 - Interessensbereiche.....	133
Abbildung 28: Fallstudie 2 – Informationsflüsse.....	134
Abbildung 29: Fallstudie 2 - Labelvarianten.....	136
Abbildung 30: Fallstudie 2 - Basis-Entwurf (g.3).....	137
Abbildung 31: Fallstudie 2 - g.3.4: Label (an der Zeitleiter).....	139
Abbildung 32: Fallstudie 2 - g.3.6 Kontextmenü.....	140
Abbildung 33: Fallstudie 2 - g.4.....	141
Abbildung 34: Fallstudie 2 – Anzeige der Sperrung eines Runways.....	142
Abbildung 35: Fallstudie 2 - g.4.4: Label	142
Abbildung 36: Fallstudie 2 - g.5.....	143
Abbildung 37: Fallstudie 2 - g.5: Label.....	144
Abbildung 38: Fallstudie 2 - g.5.6: Kontextmenü.....	145
Abbildung 39: Fallstudie 3 - Prinzip.....	150
Abbildung 40: Fallstudie 3 - Aufbau Demonstrator.....	153
Abbildung 41: Fallstudie 3 - Simulator.....	154
Abbildung 42: Vorgehensmodell - Basiskomponenten.....	159
Abbildung 43: Vorgehensmodell - Unteraktivitäten.....	160

Abbildung 44: Vorgehensmodell - Beziehungen zwischen Elementen bzw. Unterelementen.....	161
Abbildung 45: Vorgehensmodell - Hervorhebung der finalen Version.....	162
Abbildung 46: Vorgehensmodell - Kombinierte Darstellung.....	163
Abbildung 47: Vorgehensmodell - Entwicklungsdimension.....	165
Abbildung 48: Elaboratives Wendeltreppen-Vorgehensmodell.....	166

9.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vorteile von Partizipation.....	23
Tabelle 2: Vergleich von Vorgehensmodellen.....	35
Tabelle 3: Komplexität bezogen auf Informationsverarbeitung	58
Tabelle 4: Zusammenfassung der Kriterien für Komplexität (Auswahl).....	60
Tabelle 5: Arten von Prototypen.....	93

9.3 Abkürzungsverzeichnis

ATC	Air Traffic Control, Flugsicherung
DEPCOS	Departure-Coordination-System
DFS	DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
HMI	Human-Machine-Interface
IFR	Instrumental Flight Rules, Instrumentenflugregel
iPort	Innovativer Airport (Verbundprojekt im 4. Luftfahrt-Forschungsprogramm, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi))
SESAR	Single European Sky Air Traffic Management Research Programme
SID	Standard Instrument Departure Route
TOSIM	Tower-Simulator der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
Tower-TID	Tower Touch Input Device
VFR	Visual Flight Rules, Sichtflugregeln
WFF	Wettbewerbsfähiger Flughafen (Verbundprojekt im 4. Luftfahrt-Forschungsprogramm, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi))

10 Zusammenfassung

Bei der Entwicklung von Human-Machine-Interfaces (HMI) im Arbeitskontext sind vielfältige Aspekte zu berücksichtigen. Das gilt insbesondere für Anwendungen im Bereich Flugsicherung, an die hohe Anforderungen bezüglich Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit gestellt werden, um das komplexe Arbeitssystem nicht durch eine ungeeignete Gestaltung zusätzlich zu belasten. Dabei sind unterschiedliche Vorgehensweisen möglich, welche jedoch häufig technikzentriert sind und sich stärker an den technischen Möglichkeiten als an den zu erfüllenden Arbeitsaufgaben der Anwender orientieren. Auch führt u. a. die hohe Komplexität und Spezifität des Nutzungskontexts dazu, dass Anforderungen und Bewertungskriterien für die Gestaltung und Funktionalität des Produkts schwierig zu definieren sind bzw. sich über den Projektverlauf verändern können, und dass vom Entwicklungsteam eine hohe Expertise in der jeweiligen Domäne gefordert wird. Eine Alternative bietet der menschenzentrierte Gestaltungsprozess nach DIN EN ISO 9241-210, welcher einen iterativen, interdisziplinären Entwicklungsprozess für HMI unter Einbindung der zukünftigen Anwender des interaktiven Systems beschreibt. Insbesondere in hoch komplexen Nutzungskontexten hilft dieses Vorgehen, zu Beginn unklare Anforderungen immer weiter zu präzisieren und ein gebrauchstaugliches Produkt zu entwickeln, das den Nutzer tatsächlich bei seiner Arbeit unterstützt, anstatt ihm zusätzliche Aufmerksamkeit abzuverlangen.

Mit der Entwicklung von HMI für Arbeitsplätze in der Flugsicherung beschäftigt sich diese Dissertation. Sie untersucht, wie ein iterativer, partizipativer Entwicklungsprozess begleitet, organisiert, koordiniert und dokumentiert werden kann, um ein gebrauchstaugliches Produkt für den Einsatz in einer komplexen Arbeitsumgebung zu erhalten. Zu Beginn werden allgemeine Vorgehensmodelle zur Entwicklung von HMI sowie aktuelle nutzerfokussierte Ansätze beschrieben, mit besonderer Berücksichtigung des Arbeitskontexts sowie Möglichkeiten zur Partizipation der Nutzer. Anschließend werden die in DIN EN ISO 9241-210 genannten Aktivitäten analysiert, auf ihre Anwendbarkeit im Flugsicherungskontext überprüft und mögliche Anpassungen von Vorgehen und Inhalt beschrieben. In einem dritten Schritt erfolgt eine exemplarische Überprüfung der Anwendbarkeit anhand empirischer Daten in Form von drei Fallstudien, welche jeweils unterschiedliche Ausschnitte des menschenzentrierten Gestaltungsprozesses beschreiben. In der ersten Fallstudie werden alle Aktivitäten ein Mal vollständig durchlaufen und anschließend mehrfach iteriert bis zum finalen Gestaltungsentwurf eines Planungstools für Tower-Fluglotsen. Die zweite Fallstudie beschreibt die Entwicklung der Gestaltungsentwürfe und -komponenten über mehrere Iterationen innerhalb eines Projekts zur integrativen Darstellung von An- und Abflügen am Tower Frankfurt. Die dritte

Fallstudie beinhaltet das Vorgehen in einer einzelnen Aktivität sowie Erkenntnisse aus ihrer Durchführung im Kontext Flugsicherung. Am Beispiel einer konkreten Evaluationsphase werden mögliche Vorgehensweisen und Methoden zur Evaluation eines Gestaltungsentwurfs beschrieben. Dabei wird auf die besonderen Bedingungen bei einer Evaluation im Kontext Flugsicherung eingegangen.

Basierend auf den Erfahrungen aus diesen Fallstudien wird das elaborative Wendeltreppen-Vorgehensmodell abgeleitet, welches die einzelnen Aktivitäten des menschenzentrierten Gestaltungsprozesses in ihrem zeitlichen Verlauf grafisch abbildet. Es ermöglicht die Darstellung und zeitliche Einordnung des erworbenen Wissens über Nutzungskontext und -anforderungen, der bisherigen Gestaltungsansätze und des aktuellen Gestaltungsentwurfs sowie der Methoden und Ergebnisse von durchgeführten Evaluationen. Damit unterstützt das elaborative Wendeltreppen-Vorgehensmodell durch die Strukturierung, Visualisierung und Dokumentation des menschenzentrierten Vorgehens die Entwicklung von HMI im Allgemeinen sowie im Kontext Flugsicherung und trägt zur Gebrauchstauglichkeit der entwickelten HMI bei.

11 Anhang

Fallstudie 1: Anforderungskatalog

Der Anforderungskatalog enthält alle Anforderungen des Projekts sowie deren Anpassungen und Erfüllungsgrad zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Der Erfüllungsgrad wird wie folgt dokumentiert:

Kürzel	Erfüllungsgrad	Farbcodierung
e	erfüllt	grün
(e)	teilweise erfüllt	gelb
o	offen / nicht erfüllt	rot
n	neu aufgenommen	blau
x	gilt nicht mehr als Anforderung	grau

a.1	Anforderungen Ausgangssituation	e.1
a.1.1	Anzahl der Flugplätze: Anzeige des Verkehrs für bis zu drei Flugplätzen	e
a.1.2	Informationsgehalt Flugzeug: Anzeige (aller) relevanter Informationen über ein Flugzeug (z. B. Rufzeichen, Flugroute, Slot, Flugzeugtyp)	o
a.1.3	Eingabe: Eingabe mittels Computermaus, Tastatur oder Touch Input Device	e
a.1.4	Struktur: Übersichtlich und klar strukturiertes HMI	e
a.1.5	Hervorhebung: Konflikte müssen hervorgehoben werden	o
a.1.6	Konfliktlösung: Konfliktlösung durch zeitliches Verschieben von Flügen oder Abgabe eines Flugplatzes an einen Kollegen	o
a.1.7		o
a.1.8	Aufgabenangemessenheit: Die Anwendung soll jederzeit für jeden Flugplatz einen guten Überblick über die Verkehrssituation bieten und den Aufbau und die Aufrechterhaltung des mentalen Modells des Lotsen fördern. Die Nutzung sollte möglichst wenig Ressourcen benötigen (kognitiv, visuell, auditiv, ...) und eine schnelle und sichere Interaktion ermöglichen. Kritische Situationen sollten hervorgehoben und mögliche Lösungen angeboten werden.	o
a.1.9	Fehlertoleranz: Die Anwendung soll vor fehlerhaften Eingaben schützen bzw. geringem Korrekturaufwand bei Fehleingaben aufweisen. Ziel ist eine intuitive und sichere Interaktion. Auswirkungen einer Eingabe sind deutlich erkennbar, werden schnell, verständlich und an der vom Nutzer erwarteten Stelle angezeigt (z. B. nahe der Eingabeposition).	o
a.1.10	Steuerbarkeit: Es soll kein zusätzlicher Zeitdruck durch Zeitbegrenzung von Eingaben etc. produziert werden. Unterbrochene Eingaben bzw. Aufgaben können jederzeit ohne Einschränkung wieder aufgenommen werden, Interaktionen gelingen einfach und schnell.	o
	Erwartungskonformität: Anzeige und Eingaben erfolgen nach bekannten Prinzipien (z. B. drag & drop zum zeitlichen Verschieben von Flugzeugen) und sind konsistent innerhalb des Tools.	o
		n
		n
		n
		n
		n

a2	Anforderungen 1. Iteration	e.2
a.2.1	(...)	e
a.2.2	Informationsgehalt Flugzeug: Anzeige (aller) relevanter Informationen über ein Flugzeug (z. B. Rufzeichen, Flugroute, Slot, Flugzeugtyp)	e
a.2.3	(...)	e
a.2.4	(...)	e
a.2.5	Hervorhebung: Konflikte müssen hervorgehoben werden	(e)
a.2.6	Konfliktlösung: Konfliktlösung durch zeitliches Verschieben von Flügen oder Abgabe eines Flugplatzes an einen Kollegen	(e)
a.2.7	Aufgabenangemessenheit: Die Anwendung soll jederzeit für jeden Flugplatz einen guten Überblick über die Verkehrssituation bieten und den Aufbau und die Aufrechterhaltung des mentalen Modells des Lotsen fördern. Die Nutzung sollte möglichst wenig Ressourcen benötigen (kognitiv, visuell, auditiv, ...) und eine schnelle und sichere Interaktion ermöglichen. Kritische Situationen sollten hervorgehoben und mögliche Lösungen angeboten werden.	(e)
a.2.8	Fehlertoleranz: Die Anwendung soll vor fehlerhaften Eingaben schützen bzw. geringem Korrekturaufwand bei Fehleingaben aufweisen. Ziel ist eine intuitive und sichere Interaktion. Auswirkungen einer Eingabe sind deutlich erkennbar, werden schnell, verständlich und an der vom Nutzer erwarteten Stelle angezeigt (z. B. nahe der Eingabeposition).	(e)
a.2.9	Steuerbarkeit: Es soll kein zusätzlicher Zeitdruck durch Zeitbegrenzung von Eingaben etc. produziert werden. Unterbrochene Eingaben bzw. Aufgaben können jederzeit ohne Einschränkung wieder aufgenommen werden, Interaktionen gelingen einfach und schnell.	e
a.2.10	Erwartungskonformität: Anzeige und Eingaben erfolgen nach bekannten Prinzipien (z. B. drag & drop zum zeitlichen Verschieben von Flugzeugen) und sind konsistent innerhalb des Tools.	e
a.2.11	Bildschirmgröße: Minimale Bildschirmdiagonale von 15 Zoll	e
a.2.12	Dynamik: Der zeitliche Verlauf erfolgt kontinuierlich, nicht in Sprüngen.	e
a.2.13	Unterscheidung von Arrivals und Departures: Die Unterscheidbarkeit von Arrivals und Departures muss gewährleistet sein, z. B. durch unterschiedliche Gestaltung, da sich die jeweiligen Aufgaben der Lotsen bei Starts und Landungen unterscheiden.	e
a.2.14	Labelgröße: Das Label eines Flugzeug sollte genau den Bereich entlang der Zeitleiter bedecken, der dem zeitlichen Bedarf der Betreuung durch den Lotsen entspricht.	e
a.2.15	Zeitbereich: Dem Lotsen soll durch die Markierung der frühestmöglichen und der spätestmöglichen Lande- bzw. Startzeit der zeitliche Rahmen angezeigt werden, in dem er einen Flug noch verschieben kann, d. h. seinen zeitlichen Spielraum.	e
		n
		n
		n
		n

a.3	Anforderungen 2. Iteration	e.3
a.3.1	(...)	e
a.3.2	(...)	e
a.3.3	(...)	e
a.3.4	(...)	e
a.3.5	Hervorhebung: Konflikte müssen hervorgehoben werden	e
a.3.6	Konfliktlösung: Konfliktlösung durch zeitliches Verschieben von Flügen oder Abgabe eines Flugplatzes an einen Kollegen	e
a.3.7	Aufgabenangemessenheit: Die Anwendung soll jederzeit für jeden Flugplatz einen guten Überblick über die Verkehrssituation bieten und den Aufbau und die Aufrechterhaltung des mentalen Modells des Lotsen fördern. Die Nutzung sollte möglichst wenig Ressourcen benötigen (kognitiv, visuell, auditiv, ...) und eine schnelle und sichere Interaktion ermöglichen. (...)	(e)
a.3.8	Fehlertoleranz: (...) Auswirkungen einer Eingabe sind deutlich erkennbar, werden schnell, verständlich und an der vom Nutzer erwarteten Stelle angezeigt (z. B. nahe der Eingabeposition).	e
a.3.9	(...)	e
a.3.10	(...)	e
a.3.11	(...)	e
a.3.12	(...)	e
a.3.13	(...)	e
a.3.14	(...)	e
a.3.15	(...)	e
a.3.16	Partielle Abgabe: Die Abgabe eines Flugplatzes erfolgt nicht komplett, sondern nur für einen Zeitabschnitt	e
a.3.17	Anzeige der partiellen Abgabe: Der Zeitabschnitt, für den der Lotse die Kontrolle an einen Remote-Lotsen gegeben hat, muss leicht erkennbar sein.	e
a.3.18	Planung: Die geplante Abgabe eines Flugplatzes muss schon vor dem Abgabezeitpunkt eingegeben werden können.	e
a.3.19	Latest time of opening: Der spätestmögliche Zeitpunkt für die Abgabe eines Flugplatzes muss hervorgehoben sein.	e